

Phys. sp.

471

m

Phys. sp. 471 m

Mousson

Journal der Reise

von Dr. J. J. Müller



Dr. J. J. Müller

1884

Die

Gletscher der Jetztzeit.

Eine

**Zusammenstellung und Prüfung ihrer Erscheinungen
und Gesetze**

von

Albert Mousson.

Zürich,

Druck und Verlag von Fr. Schulthess.

1854.

282.12.

Gleichen der Zeit.

Zusammensetzung und Prüfung der Erscheinungen
auf der Erde



Nürnberg

Verlag von J. B. Neumann

1844



I. Einleitung.

Die Alpenkette. — Wenn man aus Baden, Würtemberg oder Baiern nach Süden oder aus den lombardischen und piemontesischen Ebenen nach Norden fortschreitet, so hat man vor sich einen riesenhaften Gebirgswall, der von dem einen Ende des Horizontes zum andern reicht und aus einem Chaos von Gipfeln und verschlungenen Ketten zu bestehen scheint. Es ist diess das mächtige Mittelgebirge Europa's, das den Norden vom Süden scheidet, die Alpenkette.

Die Alpenregionen. — Nirgendwoher ist aber der Anblick derselben grossartiger und umfassender als von den schon bedeutenden Höhen des Schweizerjura, vom Weissenstein bei Solothurn oder vom Chaumont bei Neuchatel. Man sieht zu seinen Füßen eine fruchtbare Niederung, bedeckt von Seen und Wäldern, von Feldern und Wiesen, übersäet von Dörfern und Höfen, durchzogen von Flüssen und Strassen; hinter dem bunten Teppich entwickelt sich ein weites verworrenes Hügelland, bekleidet von einem vielfach zerrissenen Mantel frischer Waldung; dann folgen als die wahre Vormauer der Alpen lange felsige Kämme, oft von dunkeln Tannen besetzt, und dahinter ausgedehnte, mit Weiden bedeckte Berghänge; noch höher verwildert das Gebirge und das freundliche grüne Kleid wird immer mehr von nackten, grauen Felsmassen verdrängt; endlich lagert sich auf die höchsten Zinnen eine blendende Decke ewigen Schnee's, aus der nur einzelne

Felshörner und Pyramiden, scharf abstechend, in die blauen Lüfte emporragen. — Die sechs Regionen, welche der Naturforscher nach ihrer Vegetation unterscheidet, — die Regionen des Landbaues, der Waldhügel, des Nadelholzes, der Alpenweiden, der Felsen und des ewigen Schnee's¹ — haben hier nicht bloss eine wissenschaftliche Bedeutung, sondern stellen sich zugleich als die grossen Hauptzonen des prachtvollen Landschaftsgemäldes dar.

Die Schneeregion. — Unter diesen Regionen ist keine so wesentlich verschieden von den andern, so scharf von ihnen getrennt, als diejenige des ewigen Schnee's. Während Feld und Wald, Alpen und Felsen mannigfach sich abstufen und in einander übergreifen, erscheint aus der Ferne die Schneeegränze als eine scharfe Linie, die am Gebirge horizontal hinlaufend, alle höhern Kämme und Kuppen zu einer eigenthümlichen Welt abschliesst. Unter dieser Linie herrscht Leben und Mannigfaltigkeit; die Bekleidung des Bodens wechselt mit der Jahreszeit; Organismen aller Art drängen sich zur Entfaltung und

¹ Wahlenberg (De vegetat. et climat. in Helvet. p. 31) und Heer (der Kanton Glarus, S. 122) unterscheiden

Wahlenberg.	Heer.
1. Die untere Bergregion (Wallnuss) 1700—2500'.	Die Hügelregion (submontane R.) bis 2500'.
2. Die obere Bergregion (Buche) 2500—4000'.	Die Bergregion (montane R.) 2500—4000'.
3. Die subalpine Region (Nadelholz) 4000—5500'.	Die untere Alpenregion (subalpine R.) 4000—5500'.
4. Die untere alpine Reg. (Sträucher) 5500—6500'.	Die obere Alpenregion (alpine R.) 5500—7000'.
5. Die obere alpine Reg. (Gräser) 6500—8200'.	Die untere Schneeregion (subnivale R.) 7000—8500'.
6. — — —	Die obere Schneeregion (nivale R.) 8500—10000'.

zunächst der Gränze noch genügen wenige Tage, ein einförmiges Schneefeld in einen prangenden Wiesenteppich umzuwandeln. Ueber jener Linie hingegen starrt ein andauernder unerbittlicher Winter, die ganze Natur trägt das Gepräge des Todes, die lautlose Stille und Einförmigkeit wird nur vorübergehend von dem Sturme der tobenden Elemente unterbrochen. Daher treten an jener Linie die schroffen Gegensätze des Winters und Sommers dicht an einander, die man im Tieflande gewohnt ist, durch die langen Uebergänge des Frühlings und Herbstes geschieden und vermittelt zu sehen.

Die Schneegränze. — So scharf inzwischen und regelmässig, als es von weitem das Ansehen hat, hält sich die Schneegränze nicht. Dringt man durch die Querthäler in das Herz des Hochgebirges, so sieht man die Scheidungslinie des Schnee's von den Felsen und Weiden bald tiefer hinabsteigen, bald sich höher zurückziehen, je nach den Verhältnissen der Lage und Oertlichkeit. Vom Frühjahr bis Anfangs Herbst weicht sie unter dem fortwirkenden Einflusse der Sonne und der warmen Winde immer mehr nach der Höhe zurück und schwankt von einem Jahre zum andern mit der Menge des Schnee's und der Wärme der Sommermonate. Immer bezeichnet sie die Gränze, bis zu welcher die vorangegangene Wärme die festen Niederschläge der kalten Jahreszeit zu schmelzen vermochte.

Die Gletscher. — Merkwürdiger Weise ist mit der Schneegränze das Gebiet des perennirenden Eises nicht abgeschlossen. Denn verfolgt man die grössern Wasserabflüsse des Gebirges aus den Thälern aufwärts bis zu ihrer Quelle, so stösst man zuletzt auf gewaltige Eismassen, die in Gestalt mächtiger erstarrter Ströme aus der Region des ewigen Schnee's in den Bereich der Wiesen, der Felder und Bäume hinabsteigen und wie Felsen der auflösenden Macht der Jahrhunderte widerstehen.

Diese anomalen Eismassen, gemeiniglich Gletscher genannt, bilden wohl den hervorragendsten Charakterzug der Alpenwelt und die wunderbarste Erscheinung, welche sie dem Forscher zur Untersuchung darbietet.

Die Bedeutung der Gletscher. — Wo man solche Eismassen erblickt, können sie weder ursprünglich entstanden sein, noch sich jetzt noch selbstständig erhalten, — denn früh im Jahre schon verschwinden die letzten Spuren des Winters aus der ganzen übrigen Gegend. Ihre ununterbrochene Verbindung mit der Region des ewigen Schnee's deutet vielmehr auf eine Abstammung aus grössern Höhen, auf eine Abhängigkeit mit den stets gleichen Naturverhältnissen, die dort walten. In der That springt die Bedeutung der Gletscher sogleich in die Augen, wenn man berücksichtigt, dass über der Schneegränze die festen Niederschläge eines jeden Jahres nicht wieder verschwinden, sich also im Laufe der Zeit ins Unbegränzte häufen müssten, hätte die Natur nicht ein Mittel gefunden, sich der wachsenden Schneelast fortwährend zu entledigen. Diess Mittel sind eben die Gletscher. Mit einer wunderbaren langsamen Bewegung führen sie das Uebermaass des gefallenen Schnee's aus den höhern Bergen in die tiefern Thäler hinab und übertragen dem Wärmeüberschuss eines mildern Klima's die Schmelzung, die in der höhern Region nicht zu Stande kam.

Das Fortbestehen der Gletscher. — Drei Momente bedingen so das unveränderte Fortbestehen der Gletscher: 1. die von den Verhältnissen der Schneeregion abhängige Ernährung derselben, 2. die in der tiefern Region vor sich gehende Auflösung und Schmelzung, 3. die Bewegung, welche die obere Vermehrung und untere Verminderung beständig ausgleicht und ohne welche einerseits die obern Schneemassen ins Maasslose wachsen,

anderseits der untere Gletscher in kurzem verschwinden würde. Alle drei Momente sind gleich nothwendig, um auch für diese Gegenden das Gleichgewicht zu erhalten, das dem Gange der Natur unter den bestehenden kosmischen und tellurischen Verhältnissen seine Fortdauer sichert.²

Arbeiten über die Gletscher. — Schon das Auffallende der Gletschererscheinung, mehr aber noch die wichtige Rolle, welche dieselbe, dem eben Gesagten zufolge, in der Natur der Hochalpen spielt, die mancherlei Fragen, welche sich an die Bewegung solcher mächtigen Eismassen knüpfen, endlich die zahlreichen Aufschlüsse, welche eine nähere Kenntniss der Gletscher für die Physik der Alpen und für die Geschichte der Erde verheisst, machen es begreiflich, dass in neuerer Zeit wohl keiner andern physikalisch-geographischen Erscheinung ein gleicher Aufwand von Mühe und Fleiss zugewandt wurde, keine eine so umfangreiche Literatur aufzuweisen hat. Drei verschiedene Gletscher, der Glacier des Bois in Chamouni³, der Unteraargletscher im Berner Oberland⁴, der Pasterzengletscher im Tyrol⁵, sind der Gegenstand jahrelanger Beobachtungen und umfassender monographischer Beschreibungen geworden. Ausserdem erschienen eine Menge anderer Arbeiten, welche theils die Gesammtheit des Gletscherphänomens, theils einzelne Punkte desselben behandelten und mehr oder weniger zur Begründung unserer jetzigen Kenntniss beitrugen.

² Am schärfsten sind diese Bedingungen auseinandergesetzt worden von Ed. Collomb. (Bibl. univ. Jun. 1849, p. 30).

³ J. D. Forbes, Travels through the Alps of Savoy. London 1843.

⁴ L. Agassiz, Etudes sur les glaciers. Neuchatel 1840, und Système glaciaire, T. I. Paris 1847.

⁵ H. und A. Schlaginweit, Untersuchungen über die phys. Geographie der Alpen. Leipzig 1850.

Die folgenden Blätter sind nun bestimmt, frei von allen Partei-ansichten, die auch bei dieser Untersuchung sich feindlich gegenüberstanden, eine Darstellung der bisher gewonnenen Resultate zu geben und dabei aus einander zu halten, was bereits auf mechanische und physikalische Grundsätze zurückgeführt worden oder als einer fernern Prüfung bedürftig zu betrachten ist.

II. Die Gletscher im Allgemeinen.

Synonymen für Gletscher. — Allenthalben, wo die Hochalpen in die Schneeregion sich erheben, sind Gletscher bekannt und erhielten je nach dem Lande und der Sprache eine verschiedene Benennung. Die französische Bezeichnung *Glacier*, die italienische *Ghiacciaia* tragen wie die deutsche Gletscher ihren Ursprung im Worte. Specielle Bezeichnungen sind die Ausdrücke *Ferner* in Tyrol, *Kess* in Kärnthen, *Biegno* im Wallis, *Vedretto* in einem Theile Italiens, *Ruize* in Piemont.¹

Begriff und Arten. — Mit diesen Ausdrücken werden Eismassen bezeichnet, welche, wie bereits angedeutet, aus dem Gebiete des ewigen Schnee's in tiefere Regionen hinabsteigen und durch ihre Schmelzung der Ursprung vieler nach dem Tieflande fließenden Gewässer werden. Man pflegt mit Saussure² zwei Arten von Gletschern zu unterscheiden. Die Gletscher erster Ordnung ziehen sich als lange Eisarme durch oft schwach abfallende Thäler fort und bestehen aus einem festen dichten Eise; diejenigen zweiter Ordnung haben meist geringe Ausdehnung, eine stärkere Neigung und lockereres Eis und hängen an den Wänden der Thäler oder den Seiten der Berge mehr oder weniger weit herab. Zwischen beiden finden sich natürlich aber alle möglichen Uebergänge.

¹ Forbes Travels, p. 19.

² H. B. de Saussure, Voyages dans les Alpes. Neuchatel 1779 bis 1796, § 522, 529. I. p. 439.

Gletschermittelpunkte. — Von grosser Höhe betrachtet, müsste eine verschneite und vergletscherte Hochgebirgsmasse sich so darstellen, als wäre über die ungleich gehobene eckige Oberfläche ein weisser ausgleichender Teppich geworfen, der mit seinem ausgezackten Rande an den Seiten des Gebirges herabhinge und einzelne lange Zipfel in die unregelmässig divergirenden Thäler vorstreckte. So etwa müsste der Gebirgsstock des Montblanc erscheinen, von welchem nach NW, nach den Thälern von Montjoie, Chamouni und Trient, sieben, nach SO, gegen die beiden Ferretthäler und die Allée blanche, elf grössere ³, nebst einer grossen Zahl kleiner sekundärer Gletscher ausstrahlen. Aehnlicherweise sendet der Gebirgsstock des Berner Oberlandes von den Eismeerern in der Umgebung des Finsteraarhornes, denen Hugi ⁴ eine Oberfläche von 38 Quadratstunden beimisst, zwölf Gletscher erster Ordnung ⁵, einzelne mit einer Länge von mehreren Stunden, nach den Thälern der Kantone Bern und Wallis aus. So endlich verhält es sich mit der noch ausgedehntern und gletscherreichern Gebirgsmasse des Monte-Rosa, derjenigen des Ortels und einer Reihe anderer im Verlaufe der Rhätischen, Tyroler und Kärnthner Alpen, welche jede als ein Ausstrahlungszentrum für ein ganzes System zusammengehörender Gletscher zu betrachten ist. Den ganzen in die Schneeregion

³ Nach NW die Glaciers de Trélatère, de Miage, de Bionnassai, des Bois, d'Argentièrre, des Tours, de Trient; nach SO die Glaciers de l'Estelette, de l'Allée blanche, du Miage, de la Brenva, du Mont Frety, d'Entrèves, de Triolet, du Montdolent, de Ferret, de Salène. Die meisten dieser Gletscher wurden von Saussure (*Voyages dans les Alpes*) und später von Forbes (*Travels etc.*) näher beschrieben.

⁴ F. J. Hugi, *naturhist. Alpenreisen*. Solothurn 1830, p. 330.

⁵ Hugi (*Alpenreisen*, p. 355) nennt den untern Grindelwald, den obern, den Rosenloui, den Gauli, den Unteraar, den Oberaar, den Viescher, den Aletsch, den Lötsch, Tschingel, Gastergletscher.

reichenden Theil der Hochalpen vom Montblanc bis ins Tyrol schätzt Ebel⁶ auf 100 Quadratstunden und die Zahl der davon ausgehenden Gletscher auf mehr als 400.

Die orographischen Bedingungen. — Die Entwicklung der einzelnen, zumal der längern Gletscher hängt aber nicht bloss von meteorologischen, sondern eben so sehr von bestimmten orographischen Bedingungen ab, die sich in den Alpen besonders häufig vereinigt finden. Nirgends bilden die Hauptketten Hochplatten oder flache Rücken; selten daher wölbt sich die Schnee- und Eisdecke, wie ausnahmsweise auf dem St.Theodul-Passe im Wallis, ohne felsige Abstürze über den Höhenpunkt des Gebirges. Ueberall haben gewaltsame geologische Umwälzungen und spätere Zertrümmerungen das Gebirge auf die mannigfachste Weise in Giebel und Pyramiden, in zackige Kämme und Hörner aus einander gerissen, zwischen denen mulden- und kesselartige Vertiefungen, die Anfänge der bedeutendern Gebirgsthäler, zurückgeblieben sind. Fallen solche Thalkessel in die Region des ewigen Schnee's, so häuft sich in ihnen von dem Circus der umgebenden steilen Berge der Schnee der Jahrhunderte, und aus ihnen hervor, gleich einer Kriechpflanze aus ihrer Wurzel, wächst der eigentliche Gletscher, durch welchen die ungeheure Schneeanhäufung ihren natürlichen Abfluss findet.

Unterscheidungen von Firn und Gletscher. — So besteht denn jeder Gletscher, wie schon Simmler⁷ 1574

⁶ J. E. Ebel, Anleitung die Schweiz zu bereisen. Ed. Zürich 1843. Art. Gletscher.

⁷ J. Simmler, Vallesiae et Alpium descriptio. Tiguri 1574, p. 74. — Zu den ältesten Gletscherbeschreibungen gehören diejenigen von Rudolf Rebmann in seinen Naturæ Magnalia 1605; von Matthäus Merian in seiner helvetischen Topographie 1642; von J. H. Hottinger in den Ephem. Nat. Curios. 1706. App. p. 27.

es ausgesprochen, aus zwei verschiedenen, aber zusammengehörenden Theilen, der obern, das Kesselthal erfüllenden zusammengepressten und dadurch veränderten Schneemasse, dem Firn (*Névé*) und dem eigentlichen Gletscher (*Glacier*), der nicht mehr aus Schnee, sondern aus festem Eise besteht. Der eine Theil sammelt den Stoff, welchen der andere in seinem Verlaufe wieder der Auflösung zuführt.⁸

Bedeutung der Firnmulde. — Wo die Firnmulde⁹ fehlt, fehlt auch ein hinlängliches Material zur Bildung grösserer Gletscher, und immer steht die Mächtigkeit und Länge des einen in nächster Beziehung zu dem Schneereichthum und der Ausdehnung der andern. Daraus erklärt sich, warum nur aus dem Hintergrunde hochreichender Thäler Gletscher erster Ordnung herabsteigen, während die geringern Ausbuchtungen und Schluchten der Thalwände, weil sie nur wenig Schnee zu vereinigen vermögen, auch nur kleinere Gletscher zweiter Ordnung erzeugen. Am unvollkommensten sind die Bedingungen der Gletscherbildung an einzeln stehenden Kuppen und Bergen vereinigt, da ihre ringsherum convexe Gestalt eher eine Zertheilung als Anhäufung des Schnee's zur Folge hat. Statt langer Gletscher zeigt sich dann wie in kleinerm Maassstabe an vereinzelter Schneemassen eine unbedeutende Randvergletscherung.

Zusammengesetzte Gletscher. — Bei den meisten grossen Gletschern umfasst der hohe Bergcircuitus, der die Schneemasse liefert, mehrere Buchten oder getrennte Kessel,

⁸ M. Rendu (*Théorie des glaciers de la Savoie. — Mém. de la soc. acad. de Savoie 1841. X. p. 43*) nennt die beiden Theile sehr passend *glacier réservoir* und *glacier d'écoulement*.

⁹ *Cirque neigeux* von E. Collomb (*Bibl. univ. Jan. 1849*); *Firnmeer* von Schlaginweit (*Unters. p. 26*).

die sich zu Einer Firnfläche vereinigen; noch öfter vereinigen sich mehrere Schluchten und Thäler mit schon ausgebildeten Gletschern, und dann entsteht ein aus mehreren End- und Seitenzuflüssen zusammengesetzter Gletscherstamm, der seiner grössern Masse wegen länger der Auflösung widersteht. So, um ein Beispiel zu wählen, stammt der Glacier des Bois¹⁰ bei Chamouni aus dem riesenhaften Circus, welcher sich von der Aiguille verte über den Léchaux, die Jorasses, den Mont-Mallet, die Aiguille du Géant, an der Nordwestseite des Montblanc vorbei, nach den Aiguilles du Midi und de Charmoz erstreckt. Er umfasst drei grosse Firmulden, von denen die grösste südliche selbst wieder mehrere Hauptbuchten enthält, und entladet sich durch die Gletscher de Talèfre, de Léchaux und du Géant, die sich folgeweise vereinigen in die lange viel besuchte Mer de glace, welche mit dem zackigen Glacier des Bois endet. Aehnliche Verhältnisse zeigen der Unteraar- und der Pasterzengletscher, wie aus den von Agassiz¹¹ und Schlaginweit¹² gegebenen vorzüglichen Darstellungen ersichtlich ist.¹³

Theilung der Gletscher. — So wie sich ein Gletscher aus verschiedenen Zuflüssen bildet, so kann er umgekehrt durch im Wege stehende Klippen in Arme zertheilt werden, die einzeln verlaufen oder unterhalb wieder verwachsen.

¹⁰ Siehe die Zeichnung bei Forbes (Travels etc.)

¹¹ Agassiz, Système glaciaire.

¹² Schlaginweit, Untersuchungen etc.

¹³ Agassiz zählt an den beiden Hauptästen des Unteraargletschers folgende Gletscherzuflüsse auf: I. Lauteraargletscher, 1. vom Lauterarrjoch, 2. vom Schreckhorn, 3. zwei Zuflüsse vom Lauteraarhorn, 4. zwei vom Abschwung. II. Finsteraargletscher, 1. vom Mittelgrat, 2. von der Strahleck, 3. vom Finsteraarhorn, 4. zwei vom Studerhorn, 5. vom Altmal, 6. vom Grunerhorn, 7. von den Scheuchzerhörnern; im Ganzen 14 Zuflüsse.

Ersteres sieht man z. B. am obern Grindelwald und am Ende des Pasterzengletschers im Tyrol, letzteres an dem inselartigen Jardinfelsen auf dem Talèfregletscher oder am Brenvagletscher in der Allée blanche. Da die meisten Thäler nach unten sich vereinfachen und erweitern, sind solche Fälle der Zertheilung nicht häufig; zudem hängt das inselartige Auftauchen einzelner Klippen oft lediglich von der relativen Höhe der Gletschermasse ab.

Transitorische und regenerirte Gletscher. —

Vorübergehend bilden sich kleine Gletscher in Schluchten und Kehlen der Bergabhänge, wenn durch Lawinen Schneemassen sich darin häufen, die im Laufe eines oder mehrerer Jahre nicht verschwinden.¹⁴ Oder es stürzen höhere Firn- und Eismassen bei ihrer Fortbewegung über Felswände herunter und bilden eine Trümmeranhäufung, aus der sich allmählig ein vollständiger Gletscher entwickelt. Solche Gletscher, wenn sie durch eine stete Wiederholung der Erscheinung fortbestehen, hat man regenerirte Gletscher genannt.¹⁵ Es gehört dahin z. B. der Schwarzwaldgletscher¹⁶ auf der Scheidegg im Berner Oberland; dann auch ein auf dem Brenvagletscher durch herabstürzende Eistrümmer gebildeter parasitischer Gletscher¹⁷ und andere mehr. Bei Gletschern erster Ordnung, die eine mächtige Eismasse führen, wird zur Erzeugung von Gletscherstürzen eine hohe Felsstufe vorausgesetzt, wie sie im Grunde der grössern Thäler sich selten findet, und man beobachtet daher meist nur Gletscherbrüche, ohne vollständige Trennung der untern und obern Gletschermasse. An sekundären Gletschern hin-

¹⁴ Glaciers bâtarde von Agassiz. Etudes, p. 143.

¹⁵ Glaciers remaniés von Agassiz. Etudes, p. 144.

¹⁶ Agassiz, Etudes, p. 144. Système, 243.

¹⁷ Forbes, Travels, p. 200.

gegen kommt der Fall häufig vor, dass das Eis, über den Rand steiler Thalwände hinausgedrängt, in der Tiefe zertrümmert.¹⁸

Ansehen der grössern Gletscher. — Man vergleicht das Ansehen eines grossen Gletschers erster Ordnung nicht ohne Grund mit dem eines hochangeschwollenen, plötzlich erstarrten Stromes. Er windet sich in ähnlicher Weise durch alle Krümmungen des Thales, wird von Hindernissen gestaut und nach der Seite abgelenkt (wie an den Gletschern von Miage und Brenva¹⁹), zieht sich zusammen oder breitet sich je nach der Weite des Thales aus, vermindert sein Gefälle vor, vermehrt dasselbe in einer Verengung — kurz schmiegt seine Gestalt auf das Innigste an die Beschaffenheit und die Unregelmässigkeiten des Thalbettes an. Mit dieser Fähigkeit der Formveränderung verbindet das Gletschereis noch ein anderes Vermögen, das an den flüssigen Zustand erinnert, nämlich die Fähigkeit des Verwachsens und Verschmelzens mit anderem Eise. So sieht man getrennte Gletscherzweige sich vollständig in Einen Stamm vereinigen, regenerirte Gletscher aus losen Trümmern sich bilden, Spalten und Klüfte sich wieder ausfüllen, und Aehnliches mehr. Diese Erscheinungen deuten augenscheinlich auf eine, freilich nur langsam sich offenbarende Beweglichkeit der Theilchen, woraus der Gletscher besteht, so befremdend eine solche an einer festen, schwere Felstrümmer tragenden, in Spalten aufspringenden, daher spröden Masse wie das Gletschereis erscheinen mag. Die Lösung dieses Widerspruches bildet einen der schwierigern Punkte in der Erklärung der Gletscher.

Gestalt kleiner Gletscher. — Die Gestalt der klei-

¹⁸ Forbes, Travels, p. 347, Tab. IX gibt eine Zeichnung eines solchen abbrechenden sekundären Gletschers bei Macugnana im Wallis.

¹⁹ Forbes, Travels, Pop. Sketsh. I.

nen Gletscher, die frei herabhängen, hat einige Aehnlichkeit mit einer Thräne; mit geringer Stärke beginnend, enden sie unten mit einer grössern und breitem Masse. Erreicht der untere Theil einer vergletscherten Bergrinne das Bett eines grössern Gletschers, so zeigt die Schnee- und Eismasse den Umriss eines hohen angelehnten Dreiecks und bildet eine Firn- oder Gletscherkehle.²⁰

Gletscherseen. — Nicht selten werden Gletscher die Veranlassung zur Entstehung von Seen. Der Langenthalersee am Oetzthalergletscher²¹, der Mörielsee am langen Aletschgletscher²² werden dadurch gestaut, dass der Gletscher eines Hauptthales vor der Oeffnung eines Seitenthales vorbeigeht und dasselbe abschliesst. Dieser Fall kommt nicht häufig vor, weil die kürzern Seitenthäler in der Höhe des Hauptgletschers meist ebenfalls vergletschert sind. Häufiger zeigt sich das Umgekehrte, dass ein Seitengletscher seine Eismassen in das Hauptthal vorschiebt, wo dieses frei von Eis ist, und die Gewässer desselben absperrt. So entsteht der Combalsee in der Allée blanche durch den Damm des Miagegletschers, der Matmarksee im Saasthale durch den des Allaleingletschers, der Rofnersee im Rofnerthale durch denjenigen des Vernagtgletschers.²³ Endlich kann es geschehen, dass in der Vertiefung, welche den Winkelpunkt zwischen zwei sich vereinigenden Gletschern einnimmt, das Wasser sich sammelt, wie man es z. B. am Taculsee²⁴ zwischen dem Léchaux- und Géantgletscher, an den beiden Armen der Mer de glace, an der Gouille de Vassu²⁵

²⁰ Desor (Agassiz, Syst., p. 80) schreibt Kelle und übersetzt es mit Truelle.

²¹ Schlaginweit, Untersuch. Karte.

²² Charpentier, Essai sur les glaciers etc. Lausanne 1841, p. 66.

²³ Schlaginweit, Untersuch., p. 138.

²⁴ Forbes, Travels, p. 88.

²⁵ Saussure, Voyages, § 1013, II, p. 469.

zwischen den Aesten des Valsoreigletschers beobachten kann.

Entleerung der Gletscherseen. — Als Folge der Veränderlichkeit der Gletscher und der leichten Unterfressung ihrer Masse durch Wasser zeichnen sich alle diese Seen durch eine grosse Unbeständigkeit ihres Wasserstandes aus und durch zeitweise Entleerungen, die bisweilen die Ursache bedeutender Verwüstungen wurden. Die Gouille de Vassu fliesst nach Saussure alljährlich ab. Die merkwürdigen Aufstauungen und Entleerungen des Rofnersee's ²⁶ sind seit dem Jahre 1601 bekannt und stehen mit den grossen unregelmässigen Schwankungen des Vernagtgletschers in Beziehung. Der Mörielsee ²⁷ soll sich alle sechs bis sieben Jahre entleeren, wobei sein Wasser, verzögert durch die Hindernisse des Abflusses unter dem Gletscher, erst nach zwei Tagen unten im Rhonethale eintrifft. Seinen Verwüstungen aus zu starker Entleerung hat man durch Tieferhalten des Wasserstandes mittelst eines Abzugkanales zu begegnen gesucht.

²⁶ Eine vollständige Zusammenstellung des merkwürdigen Phänomens findet sich in Schlaginweit's Untersuch., p. 138.

²⁷ Schriftl. Mittheilung von Escher v. d. Linth.

III. Maassbestimmungen der Gletscher.

Die Schneelinie. — Bei allen Maassangaben der Gletscher muss die **Schneelinie** als Ausgangspunkt dienen, denn sie scheidet den ewigen Winter von den Regionen der Vegetation, die Gegenden der Schneeanhäufung von denen der Schneebefreiung, das Gebiet des Firnes von demjenigen des Gletschers. Allein sie darf nicht mit der Linie der Temperatur 0° verwechselt werden, von der sie wesentlich abweicht. Während die letztere in jeder Gegend aus einer Abgleichung aller Temperaturen des Jahres über und unter 0 hervorgeht, hängt die erstere von dem Verhältniss der Wärmemenge aller über 0 stehenden Tage zu der Menge des im Winter gefallenen Schnee's ab. Die Schneegränze befindet sich immer da, wo der Winterschnee¹ von der Sommerwärme eben noch aufgezehrt wird, wo also die von aussen mitgetheilte Wärme der für die Schneelage erforderlichen Schmelzungswärme gleich ist. Es scheint, dass auf der ganzen Erde die Höhe, wo diess Verhältniss eintritt, diejenige der mittlern Jahreswärme gleich 0 bedeutend übersteigt, um sich derjenigen zu nähern, welche einer Sommerwärme von 0 entspricht.

Höhe in den Alpen. — Die gewöhnlich angenommenen Angaben über die Schneegrenze in den Alpen sind die folgenden:²

¹ Es versteht sich von selbst, dass in allen Jahreszeiten, selbst im Winter, einzelne Schmelztage eintreten können, wie man aus der Ferne schon am Flimmern der Schneeflächen erkennt, und ebenso, dass der Sommer einzelne Schneetage aufweisen kann.

² Alle Maassbestimmungen sind auf Meter zurückgeführt.

Nach Saussure ³ 2532 Meter.

Wahlenberg ⁴ 2670 „

Leop. v. Buch ⁵ 2766 „

Humboldt ⁶ 2708 „

Schlaginweit, nach sorgfältiger Prüfung aller vorhandenen Angaben, hält sich an folgende Zahlen: ⁷

	Linie von 0°.	Schneelinie.	
Nordabfall der Alpen	1980	2600—2700	Meter.
Centralalpen	2080	2730—2800	„
Montblanc-Kette	2340	2860—3100	„

Die Schneelinie liegt hiernach wohl um 7—800 Met. höher als die Isotherme von 0°, und fällt auf eine Höhe, deren mittlere Temperatur gegen — 4° C. beträgt. In dieser Höhe haben nur die 5 Monate von Mitte Mai bis Mitte Oktober eine Temperatur über 0° und eine Mitteltemperatur von 20,2 — 20,4, welche man also für die Alpen als das zur Schmelzung erforderliche Wärmemaass betrachten kann. Wenig abweichend hiervon bestimmt Denzler ⁸ die untere Grenze des ewigen Schnee's in derjenigen Höhe, für welche die Temperatur des heissesten Monates 2° bis 20,5 beträgt.

Die Schwankungen der Schneelinie. — Wie schon angedeutet, erleidet aber diese Linie sehr bedeutende Veränderungen. Von dem Nord- zu dem Südabfall der Alpen erhebt sie sich wohl um 300 Met., und zwar nicht allein wegen der um 2° südlicheren Breite, sondern weit mehr noch wegen der günstigeren Lage gegen die Sonne und der klimatischen Verschiedenheit der cis- und transalpinischen

³ Saussure, Voy. II. § 942.

⁴ Wahlenberg, De veget. et clim. Helv. p. XLIV.

⁵ L. v. Buch, Gilb. Ann. XLI. p. 48.

⁶ Humboldt, Central-Asien. II. p. 208.

⁷ Schlaginweit, Unters. T. VIII. p. 345.

⁸ Denzler, Mittheilungen der naturf. Ges. in Zürich 1848, p. 56.

Länder. Auch die Vereinzelung und Gruppierung der Berge hat einen grossen Einfluss auf die Schneelinie. An isolirten Bergen, frei vom Luftmeere umflossen, hält sich der Schnee weniger tief als im zusammenhängenden Hochgebirge, wo die ausgedehnten Schneefelder zu einem wahren Kälteherd werden. Hochländer hingegen, die durchschnittlich von Schnee befreit sind, wirken hebend auf jene Linie, wie man es z. B. im bündnerischen Hochlande beobachtet, wo dieselbe gegen 2800 Met. hinaufrückt⁹. Auffallende Abweichungen zeigen sich an den Seiten desselben Berges oder desselben Thales. Die Schneemenge zu beiden Seiten bleibt nahe die gleiche, die Mittheilung der Wärme durch die Sonne hingegen ist je nach der Dauer ihrer Wirkung und dem Winkel der Stralen eine ganz andere, und die Verschiedenheit wird noch durch die Entstehung von Strömungen vermehrt, welche an den beschienenen Abhängen warme Luft aufwärts führen, an den schattigen kalte Luft ins Thal herabziehen. Bis 3000 und 3100 Met. trifft man in den Centralalpen günstig gelegene Berghalden, welche durch Sonne und Wind vom Schnee befreit werden und sich regelmässig mit Blumen bedecken, und umgekehrt hält sich der Schnee in schattigen Schluchten der Nordabhänge um mehrere hundert Meter tiefer als sonst. Noch umfassender endlich ist der Einfluss der verschiedenen Jahre, je nach der Wärme und Schneemenge, die sie bringen. In den Jahren 1842 und 1843 fand z. B. Agassiz¹⁰ an der Mieselen beim Unteraargletscher die Schneeegränze um 400 Met. abweichend, was er allerdings als ein Maximum der Verschiedenheit einzelner Jahre betrachtet.

Die Firnlinie. — Wegen der grossen Veränderlichkeit

⁹ Denzler, Zürcher Mitth. 1851, p. 275.

¹⁰ Agassiz, Système, p. 19.

der Schneelinie hat Hugi einen festern Ausgangspunkt in der Firnlinie gesucht, die freilich aber nicht ganz mit ersterer identifiziert werden darf. Da der auf den Gletscher fallende Schnee auf einer immer gleichtemperirten Unterlage von 0° ruht, von einer Luft berührt wird, die sich wegen des Wärmeverbrauchs für die Schmelzung wenig erwärmt, und vor den über die Bergkämme streichenden Windströmen geschützt ist, so befindet er sich unter gleichmässigeren Verhältnissen als an einem Bergabhange, und es begreift sich, dass die Gränze, wo die neuesten horizontalen Schneeschichten ausgehen, auf der eigentlichen vereisten Gletscherfläche eine grössere Constanz der Höhe als auf dem Erdboden zeigt. Hugi¹¹ gibt für das Berner Oberland z. B. folgende Zahlen:

Ob.Grindelwaldgl. N.	2474 ^m	Vieschgl. S.	2498 ^m
Ob.Rosenlauigl. N.	2477	Aletschgl. S.	2500
Unteraargl. O.	2494	Lötschgl. W.	2501
Oberaargl. O.	2501	Tschingelgl. N.	2500
Münstergl. S.	2495	Gastergl. N.	2488

Diese Zahlen fallen wirklich nahe zusammen, ungeachtet der sehr abweichenden Orientirung der Gletscher. Doch auch diese Linie behauptet keine vollkommene Constanz bei verschiedener Lage und zu verschiedenen Zeiten. In gewöhnlichen Jahren sah sie allerdings Agassiz¹² im Gebiete des Aargletschers von einem Jahre zum andern und von einer Gegend zur andern nur zwischen 2520 und 2530 Met. schwanken; allein nach dem schneereichen Winter von 1842 auf 1843 blieb der Schnee um 114 Met. tiefer liegen, was nach der Länge des Gletschers gemessen eine Entfernung von nicht weniger als einer Stunde ausmacht. Auch von einem Gebirgstock zum andern weicht sie mehr ab, als Hugi geglaubt,

¹¹ Hugi, Alpenreisen, p. 324.

¹² Agassiz, Etud., p. 44. Système, p. 18 u. pag. 46.

und steigt auf den Gletschern der Monte-Rosa-Kette häufig auf 3000 Met. und mehr ¹³.

Höhe der Firnmulden. — Ueber der Firnlinie befinden sich nun die Mulden und Kessel, welche den Gletschern ihr Material liefern. Sie erfüllen diese Aufgabe um so vollständiger, je weiter sie sind und je mehr ihre Gestalt sich eignet, grosse Schneemassen zu sammeln und zu fassen. Merkwürdig ist, dass die Firnlinie bisweilen so hoch am Gletscher hinläuft, dass der eigentliche Grund des Firnthales, nach der Gestalt seiner Wände beurtheilt, und damit ein grosser Theil seiner Ausfüllungsmasse unter der Grenze des ewigen Schnee's liegen; allein das Auffallende verschwindet, wenn man bedenkt, dass erstens jene tiefsten Stellen immer noch höher liegen als 2002 Met., derjenigen Höhe, in welcher nach Bischoff ¹⁴ die Bodentemperatur 0° ist, und dass zweitens die Firnmasse, einmal vorhanden, jedem äussern Wärmeeinfluss entzogen bleibt: genug, wenn nur die Oberfläche der Firnanhäufung höher liegt als die Firnlinie. In der That finden sich die meisten Firnflächen in Höhen von 2500—3000 Met. ¹⁵. Agassiz ¹⁶ führt als merkwürdige Ausnahmen die Bergkessel des Mättithales und des Monte Leone an, in welchen ungeachtet einer Höhe von 2500 Met. und einer günstigen Gestalt keine Firnanhäufungen sich bilden. Beide Thäler gehören aber der Simplonkette an, deren Firnlinie höher streicht, und stehen bereits unter dem Einfluss der italischen Winde. Höher als 3500 Met. hinwieder bildet das Gebirge meist nur steile Hänge und scharfe Kämme, die sich nicht zur Anhäufung des Schnee's

¹³ Agassiz, *Système*, p. 46.

¹⁴ G. Bischoff, *Die Wärmelehre des Erdkörpers*. Leipzig 1837, p. 225.

¹⁵ Schlaginweit, *Unters.*, p. 47.

¹⁶ Agassiz, *Système*, p. 4.

eignen, und auch der Schnee selbst hat nicht die zur Firnbildung nöthige Beschaffenheit.

Grösse der Firnmulden. — Die Firnmulden der grossen Gletscher haben nach Schlaginweit¹⁷ eine Weite von wenigstens 2500 Met. und eine Oberfläche von 5000000 Quadratmet. Denzler¹⁸ schätzt die Breite der Firnmulden, von Kamm zu Kamm gemessen, an den wenig bekannten Berninagletschern:

Roseggl., Breite 7500^m, Fläche v. Firn u. Gletscher 37 Mill. □^m

Mortiratschgl., Br. 5900^m, „ „ „ „ „ 32 „ „

Palùgletscher, „ 3600^m, „ „ „ „ „ 15 „ „

Der Lauter- und Finsteraargletscher in der Firnregion mögen zusammen 3000 Met. Durchmesser halten, das Firnthal des Glacier du Géant, des einen Armes der Mer de Glace 5000 Met., der Pasterzenfirn¹⁹ nach seiner kleinsten und grössten Dimension 2691 und 4110 Met. Die Breite dagegen der aus diesen Firnmeeren entspringenden Gletscher beträgt mehr nicht als 1694, 1100 und 1201 Met., etwa $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{4}$ der Firnbreite. Doch ist es nicht die Breite des Gletschers, welche man mit der Ausdehnung des Firnes in Vergleich setzen darf, sondern seine Mächtigkeit bei seinem Austritt; denn die Menge des jährlich auf dem Firn bleibenden Schnee's entspricht der horizontalen Oberfläche desselben, die des jährlich durch den Gletscher weggeführten, abgesehen von der Geschwindigkeit, seinem vertikalen Querschnitt.

Dicke der Gletscher. — Leider fehlt es an direkten Messungen über die Dicke der Firn- und Gletschermassen, da auf den Grund reichende Spalten selten und meist im

¹⁷ Schlaginweit, Unters., p. 27.

¹⁸ Denzler, Schriftliche Mittheilung.

¹⁹ Schlaginweit, Unters., p. 54.

untern Gletscher vorkommen und die einzigen von Agassiz ausgeführten Bohrversuche ²⁰ auf dem Aargletscher mit 66 Met. den Grund nicht erreichten. Saussure ²¹ schätzt die Dicke des Glacier des Bois auf 28—33 Met., und an diese Zahl, die wohl nur für das Ende des Gletschers gelten sollte, hielten sich die meisten Schriftsteller als an eine mittlere Bestimmung, wiewohl Saussure selbst Dicken von 150 Met. für möglich hält. Hugi ²² nimmt für die obern Firmassen eine Stärke von 40—60 Met., für die obern Gletschertheile von 26—33 Met. und für die untern von 9—26 Met. an, indem Spalten und Abstürze, selbst an den mächtigen Viesch- und Aletschgletschern, mehr nicht als 33 und 50 Met. Eisdicke geben sollen. Allein diese Angaben beruhen auf keinen genügenden Messungen und sind für grössere Gletscher jedenfalls viel zu klein. Denzler ²³ schätzt nach der Neigung der Thalsole und der Oberfläche die Dicke des Roseggletschers am Bernina neben der Nase des Piz Agagliox auf 190 Met. Agassiz ²⁴ prüfte auf dem Aargletscher mit der Sonde Löcher und Spalten, welche, ohne den Grund zu erreichen, auf 100 Met., ja auf 260 Met. Tiefe hinabgingen; er berechnet auf indirektem Wege die ganze Dicke an der Vereinigung der Arme des Lauter- und Finsteraar, einerseits aus der Abschmelzung und Bewegung zu 360 Met., anderseits aus der Neigung der Thalsole am Ende des Gletschers und aus der Neigung seiner Oberfläche zu 460 Met. An kleinen Gletschern, namentlich an solchen zweiter Ordnung, mit beschränktem Firn und starkgeneigtem Bette, ist natürlich die Dicke weit geringer und wegen häufiger Risse und

²⁰ Agassiz, *Système*, p. 87.

²¹ Saussure, *Voyage*. I. § 523, p. 440.

²² Hugi, *Alpenreisen*, p. 330 u. 332.

²³ Denzler, *Schriftliche Mittheil.*

²⁴ Agassiz, *Système*, p. 88.

Brüche leichter bestimmbar. So fand Agassiz²⁵ an dem Grünberg und den beiden Triftengletschern Dicken von 15, 10 und 12 Met., bei andern Nebengletschern noch weniger.

Die Länge der Gletscher. — Ueber die Länge und Breite der Gletscher enthalten die meisten Alpenreisen vereinzelte Angaben; vollständiger sind indess nur diejenigen, welche Forbes²⁶, Wild²⁷ und Schlaginweit²⁸ durch genaue Vermessung der DesBois-, Unteraar- und Pasterzengletscher erhalten haben.

	Länge.	Breite.	
		Anfang.	Ende.
DesBois-Gletscher (Gletscherstamm)	7000 m	1000 m	300 m
Aargletscher (Gletscherstamm)	8000	1450	550
Pasterzengletscher	5410	1200	400

Dabei verlängert sich der DesBois-Gletscher durch die Firnregion bis zum Fuss des Col du Géant noch um 7000 Met., der Aargletscher bis zur Strahleck um 8000 Met., der Pasterzengletscher noch weiter. Im Mittel beträgt die Länge des eigentlichen Gletschers das vier- bis sechsfache seiner Breite. Die Oberfläche des Aargletschers oder seine Abschmelzungsfläche wird auf 9600000 Quadratmet. geschätzt, die zugehörige Firn- oder Anhäufungsfläche auf 8000000 Quadratmet., was der Gleichheit sich nähert. Einige andere genaue Längenangaben über Gletscher des Tyrols, mit Inbegriff des Firns, gibt Schlaginweit²⁹:

Langthalgletscher	4810 m	Hochjochgletscher	5320 m
Gr. Oetzthalgletscher	8820	Hintereisgletscher	8260
Niederjochgletscher	2791	Vernagtgletscher	5610

²⁵ Agassiz, Système, p. 91.

²⁶ Forbes, Travels. Map of the Mer de Glace.

²⁷ Agassiz, Système, p. 56 u. f.

²⁸ Schlaginweit, Unters., p. 53 u. f.

²⁹ Schlaginweit, Unters., p. 59.

Für die Berninagletscher findet Denzler³⁰ folgende Längen, die ersten mit Zuzug der Firnlänge bis an den Grenzkamm des Circus, die andern für den zusammenhängenden wahren Eiskörper allein:

Roseggletscher,	ganze Länge	9500 ^m ,	Gletscher u. Firn	7500 ^m
Mortiratschgl.,	„	9800	„	8000
Palùgletscher,	„	7200	„	2400

Der Mortiratsch hat in seiner Mitte 1700 Met. Breite und 12 Mill. Quadratmet.; der Sardonagletscher im Kalfeuserthal auf 2050 Met. ganze Länge 1870000 Quadratmet. Oberfläche. Von allen bekannten Gletschern hat der Aletschgletscher, der, aus dem weiten Firncircus zwischen den Viescherhörnern, der Jungfrauette und dem Aletschhorn stammend, nach dem Wallis abfließt, die grösste Länge; der eigentliche Gletscher mag nämlich gegen 24000 Met. Länge auf 110 Mill. Quadratmet. Fläche³¹ halten.

Einwirkende Grössen. — Es hängt die Länge eines Gletschers vorerst von seiner Mächtigkeit beim Austritt aus der Firnregion, das heisst von der zu schmelzenden Eismasse ab; eben so sehr aber von seiner schnellern oder langsamern Bewegung, welche ihrerseits, wie später gezeigt wird, mit der Mächtigkeit und der Neigung des Gletscherbettes wächst. Je grösser die Dicke im Vergleich zur Breite ist, von welcher letztern die Abschmelzungsfläche bestimmt wird, je grössere Geschwindigkeit die Eismasse hat, je höher endlich und vor Wärme geschützter das Gletscherbett liegt, desto länger erhält sich das Eis bis zur vollkommenen Zerstörung, desto weiter wird sich der Gletscher thalabwärts erstrecken können. Die bisherigen Angaben genügen aber nicht, besonders wegen Unkenntniss der Thalform, den

³⁰ Denzler, Schriftliche Mittheilung.

³¹ Ed. Collomb, Bibl. univ. Janv. 1849, p. 7.

besondern Einfluss der vier zusammenwirkenden Faktoren, Dicke, Breite, Neigung und Höhe in jedem einzelnen Gletscher, nachzuweisen.

Specifische und wahre Neigung. — Wie ein Wasserstrom, der allmählig im Sande versiegt, so nimmt der Gletscher in seinem Verlaufe durch die fortdauernde, in der tiefern Gegend wachsende Abschmelzung an Breite und Dicke ab und erhält dadurch eine zungenförmige Gestalt. Sein Längendurchschnitt stellt einen sehr scharfen, am Ende abgestutzten Keil dar, der selbst wieder auf einer geneigten Fläche, der Thalsole, liegt. Der Winkel des Keiles, von Schlaginweit³² die specifische Neigung genannt, scheint von dem Fall der Thalsole weniger abhängig als von der Stärke der Abschmelzung und der Geschwindigkeit des Vorrückens und beträgt selten mehr als 3° . Dieser Winkel summirt sich zu der Neigung der Thalsole, um die wahre Neigung des Gletschers zu geben, welche öfter gemessen und von einem Gletscher zum andern sehr verschieden gefunden wurde. Sie beträgt z. B.

	Firn. Gletscher.
Am Gletscher des Bois ³³ (das Ende ausgen.)	8046 4° — $5^{\circ}1/2$
Pasterzengl. ³⁴ (bis zum Endabsturz)	8030 2° — 8°
Aargletscher ³⁵ (vom Abschwung an)	1039 3° — 7°

Die Thäler der beiden ersten haben bedeutende Unregelmässigkeiten und Stufen und desshalb einen sehr veränderlichen, von Brüchen gestörten Lauf; der Aargletscher, der sich nicht in einem starkabfallenden Querthale, sondern in einem gleichmässig geneigten Längenthale hinzieht, zeigt

³² Schlaginweit, Unters., p. 157.

³³ Forbes, Travels, p. 117.

³⁴ Schlaginweit, Unters., p. 53. — E. de Beaumont, Ann. d. Min. III. sér. X. p. 565.

³⁵ Agassiz, Système, p. 71.

hingegen vom Abschwung, wo sie nur $0^{\circ} 18' 21''$ beträgt, eine stetige Zunahme der Neigung bis gegen das Ende, wo sie $8^{\circ} 11' 17''$ wird, und diess Verhalten darf man wohl in ähnlichen Fällen als Regel annehmen. Die Neigung des langen Aletschgletschers soll im Mittel nicht $4^{\circ} 36'$, im obern Theile sogar nur $2^{\circ} 58' 37''$ betragen.

Neigung der Gletscher erster und zweiter Ordnung. — Es steigt überhaupt die Neigung der grossen Gletscher erster Ordnung niemals im Mittel auf 10° und hält sich, den Firn inbegriffen, meist auf $5-8^{\circ}$. Wo Gletscherbrüche sind, wie am Rhonegletscher, am Ende des DesBois-Gletscher, dem Pasterzengletscher, wächst sie auf 20 und 30° , umgekehrt sinkt sie an einzelnen Strecken auf 3° , ja auf 1° und weniger herab. Es ist diess immer noch mehr als das Gefälle eines reissenden Bergstromes ohne Stürze³⁸. — Weit bedeutender hingegen wird die Abdachung der kleinern Gletscher zweiter Ordnung, wie die folgenden Angaben von Agassiz³⁹ beweisen:

Grünberggletscher 32° ,

Zuckerstockgletscher $38-49^{\circ}$,

Triftgletscher $20-25^{\circ}$.

Forbes⁴⁰ führt einen Seitengletscher des Miage an, der, ohne sich zu trennen, freilich aber gestützt vom Hauptgletscher, mit 50° abfällt. Bergkehlen und Rinnen, mit Firn und komprimirtem Schnee erfüllt, haben eben so starke Neigungen, die Escherkehle am Aargletscher nach Agassiz⁴¹

³⁶ Forbes, Edinb. N. Phil. Journ., Oct. 1844. p. 376.

³⁷ E. de Beaumont, Ann. d. Mines. III. sér. X. p. 565.

³⁸ E. de Beaumont, a. a. O. p. 565.

³⁹ Agassiz, Système, p. 85.

⁴⁰ Forbes, Trav. p. 194.

⁴¹ Agassiz, Système, p. 85.

37°, eine Kehle am Col du Géant nach Beaumont⁴² 45°. Unter 30—35° hält sich auch weniger comprimierter Schnee an Abhängen und Schneeanhäufungen.

Der Endabfall. — Das Ende des scharfen Gletscherandes läuft nicht in eine scharfe Spitze aus, sondern bricht ziemlich steil mit einer ebenen oder gerundeten Endfläche (talus terminal) ab, die oft schwer zu erklimmen ist und an deren Fuss die Eishöhle liegt, aus welcher der Gletscherbach das aus der Schmelzung des ganzen Gletschers entstandene Wasser wegführt. Schon nach dem Endabfalle hin nimmt die Neigung zu, wie das folgende Beispiel zeigt:

Vor dem Endabfall 300^m mit 10° 18' 42"

Endabfall 672^m mit 43° 22' 23" und 62^m Höhe.

An der Pasterze findet Schlaginweit 50°⁴³. Der Abfall der Endfläche hängt übrigens mit dem Seitenabfall des gewölbten Gletschers zusammen und hat seine Entstehung ähnlichen Ursachen zu verdanken, nur dass sich die Oberfläche an den Seiten, von den Thalwänden unterbrochen, nicht so tief herabsenken kann.

Höhe des Gletscherendes. — Aus der Länge eines Gletschers in Verbindung mit der Neigung der Thalsole folgt die absolute Tiefe, zu welcher derselbe von der Firnlinie an hinabreicht. Die Höhe des Gletscherendes ist von Reisenden oft bestimmt worden, indem das Erscheinen der ersten Eismassen als Ursprung vieler Bergströme, in Mitte einer grünen, oft baumreichen Landschaft vor allem in die Augen springen musste. Eine grosse Zahl Angaben für Gletscher der Finsteraarhornmasse gibt Hugi⁴⁴, darunter die folgenden:

⁴² Beaumont, Ann. d. Min. III. sér. X. p. 566.

⁴³ Schlaginweit, Unters., p. 55.

⁴⁴ Hugi, Alpenreisen, p. 335.

Oberaargl. O.	2274 ^m	Gauligl. O.	1624 ^m
Lötschgl. W.	1884	Rosenlauigl. N.	1559
Unteraargl. O.	1860	Vieschgl. S.	1348
Tschingelgl. N.	1803	Aletschgl. S.	1347
Rhonegl. S.	1786	Obergrindelwaldgl. N.	1299
Gastergl. N.	1735	Untergrindelwaldgl. N.	1039

Die drei ersten Gletscher liegen in Längenthälern mit verhältnissmässig geringem Fall und erreichen darum, trotz ihrer Länge und Mächtigkeit, keine bedeutende Tiefe. Die darauf folgenden, mit stärkerem Falle, rühren von zu geringen Firn-mulden her, um tief herab zu steigen. Hingegen gelangen die mächtigen Viesch- und Aletschgletscher, ihres geringen Falles und ihrer südlichen Lage ungeachtet, bis in die tiefere Thalregion. Am tiefsten hinab von allen bekannten Gletschern, bis in den Bereich der Felder und Obstbäume, reichen die Grindelwaldgletscher, Dank ihrer Steilheit und ihrer nördlichen Lage.

Zu den tief hinabgehenden Gletschern gehören auch diejenigen der Montblanckette, wie die folgenden Zahlen zeigen:

Brenvagletscher 1347^m (Escher v. d. Linth⁴⁵)

DesBois-Gletscher 1117 (Forbes⁴⁶)

Bossongletscher 1115 (Martin⁴⁵).

Der letztere ist kein Gletscher erster Ordnung und steigt als eine ununterbrochene Firn- und Eismasse von den höchsten Theilen des Montblanc⁴⁷ an dem Bergabhange herunter; seiner grossen Steilheit wegen erreicht er dieselbe Tiefe, wie der mächtige DesBois-Gletscher nach mehrstündigem Laufe. Die Tyroler Gletscher, deren einige von Schlaginweit⁴⁸

⁴⁵ Martins, Observ. sur les gl. du Spitzberg. Bibl. univ. 1840, T. XXVIII. p. 144.

⁴⁶ Forbes, Trav. p. 121.

⁴⁷ Forbes, Trav. p. 180.

⁴⁸ Schlaginweit, Unters. p. 134. 64. Tab. IV. 142. 61.

gemessen wurden, haben im Mittel, wie die Thäler selbst, in welchen sie verlaufen, eine höhere Lage.

Leitergletscher	2729 m	Vernagtgletscher	2127 m
Langthalgletscher	2228	Vermontgletscher	1858
Hintereisgletscher	2201		

Dasselbe gilt von den Berninagletschern nach den Bestimmungen von Denzler⁴⁹:

Roseggletscher	2050 m	Cambrenagletscher	2260 m
Mortiratschgletscher	1950	Palùgletscher	1950

Die grosse Mehrzahl der gemessenen Gletscher endet also in einer Höhe zwischen 1000 und 2300 Met. Natürlich gilt diess nicht mehr von den kleinen Hängegletschern zweiter Ordnung, die von der Schneegränze an zu allen möglichen geringern Tiefen hinabreichen, je nach der Lage sogar über der mittlern Schneegränze endigen.

⁴⁹ Denzler, Schriftliche Mittheilung.

IV. Das Material der Gletscher.

Das Material, woraus der Gletscher entsteht, fällt in der höhern Region als Schnee herab und löst sich in der tiefern wieder in Wasser auf. Zwischen diesen beiden äussersten Zuständen durchläuft aber der Schnee eine Reihe von Umwandlungen, deren Kenntniss zum Verständniss des Wesens der Gletscher von Wichtigkeit ist und welche auch äusserlich die Eigenthümlichkeiten der verschiedenen Theile des Gletschers bedingen.

Die höchsten Niederschläge. — Ueber 3000 und 3200 Met. fällt in den Alpen nicht häufig mehr Regen, da die Regenwolken meist tiefer, bei 2200 bis 2600 Met.¹, streichen und die mittlere Temperatur selbst im Juli 0° nicht übersteigt.² Einzelne Fälle indess wurden bis zu den grössten Höhen beobachtet, von Schlaginweit im Oetzthal bei 3616 Met.³, von Zumstein am Monte Rosa bei 3900 Met.⁴ Dabei bleiben aber die Tropfen wegen der geringen Sättigungsmenge der kalten Luft, einzelne Fönstürme ausgenommen, klein und wenig ergiebig. Die vorherrschenden Niederschläge, deren Totalmenge von 1600 Met. an nach oben bedeutend abnimmt⁵, bestehen aus Schnee. Doch hat derselbe seltener das Ansehen grosser lockerer Flocken, wie

¹ Schlaginweit, Untersuch., p. 409. — Kämtz nimmt als mittlere Höhe des Cumulus für Deutschland 5000' oder 1624 Met. Kämtz Meteorol., I, p. 386.

² Ebenda, p. 355.

³ Ebenda, p. 418.

⁴ Welden, Monographie des Monte Rosa, p. 156.

⁵ Schlaginweit, Untersuch., p. 425.

in der Tiefe gewöhnlich bei geringer Kälte, sondern besteht gleich dem Schnee kalter Tage aus kleinen flimmernden Nadeln und Sternchen oder bei stürmischer Witterung aus kleinen Körnern, die ihrerseits wieder aus feinen Eisnadeln verworren zusammengeballt sind. In den einzelnen Nadeln und Blättchen herrscht die drei- bis sechsfache Symmetrie vor, welche das Krystallsystem des Eises charakterisirt.⁶ Ein wesentlicher Unterschied besteht zwischen dem Schnee des Hochgebirges und demjenigen des Tieflandes durchaus nicht, nur dass dort die Formen vorwalten, die hier nur an einzelnen kalten Tagen sich zeigen.

Der Hochschnee. — Mit solchem feinkörnigen, fast pulverigen Schnee, dem Hochschnee von Hugi⁷, sind alle nicht zu steilen Gipfel und Rücken überdeckt, namentlich breitet er sich auf hohen Bergjochen zu einförmigen Feldern aus, die man nur mit Mühe durchwatet und deren blendende Weisse das Auge kaum verträgt. Es unterscheidet sich der Hochschnee von dem des Tieflandes vorzüglich durch seine, von der niedern Temperatur herrührende Trockenheit und davon abhängige Beweglichkeit. Statt zusammenzubacken, sieht man ihn wie Sand an den felsigen Hängen herabrieseln oder in stäubenden Massen über Wände herabstürzen, am Fusse oder auf den Stufen derselben Halden bildend, die höchstens 30° Neigung haben mögen.⁸

⁶ Kämtz Meteorogie, Halle 1831, p. 409. — Schumacher, über die Krystallisation des Wassers, 1844. — Desor, Nouvelles Excursions, p. 107, und Agassiz, Système, p. 127.

⁷ Hugi, Alpenreise, p. 352. — Es ist diess der Körnerschnee von Schlaginweit, Untersuch., p. 28, die neige grenue und poudreuse von Agassiz, Système, p. 127.

⁸ Beaumont, Annal. d. Min., 3e sér. X, p. 566. — Allerdings ist hier weniger von Hochschnee als von Lauinenschnee die Rede.

Seiner Leichtigkeit willen wird er das Spiel der im Hochgebirge so häufigen Winde. Jeder Windstoss, über die Kämme wegstreichend, wirbelt Wolken davon in die Höhe⁹ und trägt sie weit auf die tiefer liegenden Firnmulden herab. Dauernde Strömungen ebnen die Flächen durch Ausfüllung aller Vertiefungen oder treiben den Schnee hinter jedem schützenden Felsen zu langgedehnten seitwärts abbrechenden Bänken zusammen, die auffallend an Dünenbänke erinnern. So erscheint die Beweglichkeit auf Höhen, wo andere zerstörende Ursachen wegfallen, als das Haupthinderniss gegen eine unmässige Anhäufung, als der Grund, dass oft an hervorragenden Stellen der rauhe Fels aus der weissen Decke hervorbricht.

Die Eistrinden des Hochschnee's. — Den pulverigen Zustand behält der Hochschnee während des grössten Theiles des Jahres, im Sommer jedoch sieht man die Oberfläche meist von einer unebenen Eistrinde überdeckt oder das Innere, wenn neue Niederschläge folgten, von dünnen Eisblättern durchzogen. Wenn die Kälte die Eiskruste zerreisst, der Wind sie aufwühlt, rollen die Eisscheiben¹⁰ auf den Schneehängen herunter und zeichnen Furchen, die aus weiter Ferne die Richtung der stärksten Abdachung erkennen lassen. Bis zu den grössten Höhen sind Eistrinden beobachtet worden, von Bravais und Martin¹¹ auf dem Grand-Plateau (3900 Met.), von Saussure¹² selbst auf dem Gipfel des Montblanc in 4800 Met. Höhe. Rendu¹³ hat diese oberflächlichen Vereisungen der Hochregion theils aus Regen erklären wollen,

⁹ Le Montblanc fume sa pipe, heisst es im Chamounithale. Saussure, Voyages, IV, § 2012, p. 203.

¹⁰ Schlaginweit nennt sie Schneerädchen. Untersuch., p. 33.

¹¹ Bravais und Martin, Bull. soc. géol. Fr. 2e sér. II, p. 240.

¹² Saussure, Voyag., IV, § 2013, p. 203.

¹³ Rendu, Theorie, p. 12.

der auf der kalten Unterlage als Glatteis gefriert, theils aus einer Reifbildung durch Condensation des in der Luft aufgelösten Wasserdampfes; aber, abgesehen von dem weniger dichten Zustande dieses Eises im Vergleich mit Glatt- und Reifeis¹⁴, beweist die Häufigkeit der Eiskrusten auf der Tagseite, das Vorwalten des pulverigen Schnee's auf der Schattenseite der Berge, dass die von Saussure¹⁵ angegebene Ursache einer wirklichen Schmelzung die richtige ist. Dieselbe scheint indess nicht sowohl von der Wärme der Luft als von der direkten Einwirkung der Sonnenstrahlen herzurühren. Temperaturen von 10 und 12^o, wie sie Saussure¹⁶ auf dem Col du Géant (3436 Met.), Zumstein¹⁷ auf dem Monte-Rosa in den heissesten Stunden des Juli und August beobachteten, sind eine Seltenheit und gelten jedenfalls nicht mehr für die auf dem Schnee ruhende Luftschicht, während hingegen die Sonnenstrahlen, begünstigt durch die Höhe des Standortes und die geneigte Lage der Abhänge, eine ungewöhnliche Kraft zu entwickeln vermögen.

Hocheis und Seracs. — Aber nicht bloss die Oberfläche, auch das Innere der Schneemasse kann bei oft wiederholter Schmelzung sich mit Wasser und durch nachherige Kälte mit Eis durchdringen. Desor¹⁸ stiess bei Besteigung des Schreckhorns in 3500 Met. auf ganze Schneeflächen, die, völlig durchtränkt, das Wasser in jeder Vertiefung hervortreten liessen. Ist die Schneeschicht nicht dick, so sickert das Wasser leicht bis auf den Grund derselben, wo es, vom Felsen gehindert, alle Lücken erfüllt und zu einem ausgezeichnet dichten und glasigen Eise gefriert, dem Hocheise

¹⁴ Desor, Ascension de la Jungfrau. Bibl. univ. 1841 Nov.

¹⁵ Saussure, Voyag., IV, § 2013, p. 203, § 2054, p. 251.

¹⁶ Saussure, Voyag., IV, § 2051, p. 241.

¹⁷ Welden, Monogr., p. 108 u. 125.

¹⁸ Desor, Excursions, p. 539.

von Schlaginweit.¹⁹ Oft ist die ganze Schneeschicht zu Eis geworden, wie es z. B. Desor auf dem Schreckhorn, Agassiz²⁰ in 4000 Met. am Roththaljoch zu oberst auf dem Aletschfirn beobachtete; oft nur der unterste Theil, der dann als eine Eisüberkleidung an allen Stellen sichtbar wird, wo der Fels den Schnee durchbricht oder an Abstürzen bloss gelegt ist. Bei grösserer Anhäufung ältern Schnee's verfolgt man schichtweise die Uebergänge vom pulverigen bis dichtesten Zustande. Zumstein²¹ übernachtete auf dem Monte-Rosa in 4264 Met. in einer Spalte festen Eises. Ebenso beschreibt Saussure²² unter dem Namen *Seracs* kubische Massen von 4—7 Met. Seite, die, von der höchsten Kuppe des Dôme de Gouté herabgestürzt, alle Stufen der Vereisung darboten. Nach Messungen, welche er aus der Ferne an Abstürzen anstellte, schätzte er die Dicke der Schnee- und Eisschicht auf der Kuppe²³ jenes Berges zu 16 Met., diejenige des Montblanc zu 50 Met., — was wohl als ein Maximum für hohe und breite Gipfel zu betrachten sein dürfte.

Ansehen der Firmulden. — Das Gebiet des Hochschnee's geht tiefer allmählig in dasjenige des Firnes über. Das Material der Firmulden häuft sich, wie schon gesagt, Jahrhunderte durch; theils aus den Niederschlägen des langen Winters, welche der in diesen Höhen kurze Sommer nicht wieder vertilgt, theils aus der Schneemenge, welche durch Winde und Stürze von dem Bergcircus herabgeführt wird. Dadurch, dass die herabgekommenen Schneemassen gegen

¹⁹ Schlaginweit, Untersuch., p. 29.

²⁰ Agassiz, Système, p. 189.

²¹ Welden, Monogr., p. 129.

²² Saussure, Voyag., IV, §§ 2016 et 2054, p. 205 et 255. — Der Name *Serac* bezeichnet im Dialekt des Landes einen kubischen Käs.

²³ Saussure, Voyag., IV, § 2015, p. 203.

die Wände der Berge sich lehnen, während die Mitte der Firnfläche sich allmählig herabbewegt, erhält das Ganze eine mulden- oder kesselförmige Gestalt mit wellig gerundeter, nach dem Ausgange des Thales abfallender Oberfläche. So blendendweiss wie der Hochschnee ist der Firnschnee nicht, Staubtheilchen verunreinigen ihn mehr oder weniger, immer aber herrscht auf den stundenweiten Firmulden oder auf den in gleicher Höhe liegenden Firnrücken eine traurige ermüdende Einförmigkeit, die von keinem Felsen, keinen Trümmern, selten nur von Brüchen und Klüften unterbrochen wird. Selbst dem Winde widersteht die ziemlich feste Firmasse; seine Wirkung beschränkt sich auf die Häufung des herabgewehten Hochschnee's, sei es in den Vertiefungen der Firnfläche, sei es nach langen parallelen Linien²⁴, die den Strandlinien eines Seeufers ähneln.

Der Firnschnee. — Wenn schon in grossen Höhen die Umwandlungen des Schnee's in Eis, als Folge vorübergehender Schmelzung, wenigstens an ausgesetzten Stellen, häufig vorkommen, so darf man solche in der Region des Firms noch allgemeiner verbreitet und deutlicher abgestuft erwarten. Leichten pulverigen Schnee trifft man nur in der kalten Jahreszeit oder nach frischen Schneefällen an. Des Morgens und von Abend an durch die ganze Nacht überzieht eine körnige, leicht gangbare, oft ziemlich feste Kruste die ganze Oberfläche des Firms; Nachmittags erweicht sie sich, ohne dass der Fuss jedoch bedeutend einsänke. Genauer untersucht, hat der Schnee durch ein häufig wiederholtes Anschmelzen und Wiedergefrieren seine Krystallstruktur verloren; die feinen Ecken und Spitzen verschwinden, das anhängende Wasser gefriert zu rundlichen Körnern²⁵, die an vielen

²⁴ Von Schlaginweit Schneegänge genannt. Unters., p. 40.

²⁵ Reine Krystallformen des Eises bilden sich höchst selten nur aus dem flüssigen, sondern fast einzig aus dem dampfförmigen Zustande.

Punkten zusammensintern und eine lückenvolle, zusammenhängende Masse bilden, die durch Wärme in einen groben Grus zerfällt. Dieser körnige, zwischen Schnee und Eis stehende Zustand bezeichnet das eigenthümliche Wesen des Firns und kann, wie leicht begreiflich, eine Reihe ganz verschiedener Stufen durchlaufen, vom beinahe incoherenten feinen Hochfirn, der oben vorwaltet, durch den grobkörnigen Tieffirn²⁶ der Mulden bis zu dem Firneis²⁷ aus ganz verschmolzenen oder verkitteten Körnern, welches den Uebergang zum Gletschereis bildet. Aehnliche Umwandlungen erleidet im Grunde bei wechselnder Kälte und Wärme auch der Schnee des Tieflandes, doch als vorübergehende, nicht als dauernde Erscheinung.

Die Dichtigkeit des Schnee's. — Vorzüglich aus der grossen Menge des von Oktober bis Mai herabfallenden Winterschnee's erneuert sich jährlich der Firn. Die einzelnen spätern Schneefälle schmelzen von der verhärteten und mehr widerstehenden, oft unreinen Kruste weg, ohne mit ihr zu verwachsen. Sie tragen nicht zur Erhöhung, sondern vermöge ihres Schmelzwassers in Verbindung mit Regenwasser zur innern Ausbildung des Firnes bei, zumal der poröse Firn das Wasser so lange aufsaugt, ohne es oberflächlich abfliessen zu lassen, bis er durch und durch zu einer sulzigen Masse geworden ist.²⁸ Die Umwandlung in Firn wird von einem starken Zusammengehen begleitet. Desor und Dollfuss²⁹ sahen eine 0^m,60 dicke Schneeschicht in drei Tagen sich auf $\frac{1}{3}$ oder 0^m,20 reduzieren, wobei das specifische Gewicht von 0,111 auf 0,306 nahe im umgekehrten Verhältniss zunahm, als Beweis, dass nur

²⁶ Haut et bas névé, Charp. Essai, p. 3.

²⁷ Glace de névé, Agassiz, Système, p. 146.

²⁸ Nicolet, Agassiz, Syst. p. 143.

²⁹ Agassiz, Syst., p. 142.

das Volumen, nicht aber die Masse sich verändert hatte. Sie nehmen überhaupt das Gewicht des ganz gesetzten Schnee's zu 0,613 an, dasjenige des Firneises zu 0,628 von dem des Wassers. Versuche von Dollfuss³⁰, sowohl in der Ebene als auf Bergen angestellt, ergeben, dass eine Schicht frischen Schnee's von 1 Met. durch Schmelzung 0^m,085 Wasser liefert oder das specifische Gewicht 0,085 hat (11,764 Mal weniger als Wasser). Rendu³¹ nimmt 0,125 an, fand jedoch comprimierten Schnee von 0,333, welche Zahlen zwischen die obigen Grenzen fallen.

Menge der Niederschläge. — Längere Beobachtungen über die Menge der jährlichen Niederschläge in grossen Höhen hat man einzig vom St. Bernhard in 2491 Met., — einer Höhe, welche manchen Firmulden zukommt. Sie geben von 1818—1836³² jährlich im Mittel 1^m,504 Wasser,

„	1836—1846	„	„	„	2 ^m ,200	„
---	-----------	---	---	---	---------------------	---

Das Mittel ist 1^m,753, wovon höchstens $\frac{1}{4}$ oder 0^m,438 für Regen, wenigstens $\frac{3}{4}$ oder 1^m,314 für Schneewasser gerechnet werden muss. Die frische jährliche Schneeschicht, das specifische Gewicht zu 0,085 angenommen, betrüge 15^m,45; die ziemlich gesetzte, zu 0,333, betrüge 3^m,95, endlich die Schicht dichten Firneises von 0,628 specifischem Gewicht, 2^m,09. Dass die Zahlen des St. Bernhard sich genähert auch auf andere Theile der Alpen übertragen lassen, beweist die Uebereinstimmung der Niederschläge im Winter 1847 mit denjenigen der Grimsel.³³ Die ersten gaben 1^m,488, die zweiten 1^m,494 Wasser; 1,494 Wasser entsprechen 17^m,51 lockern und 2^m,30 ganz gesetzten Schnees.

³⁰ Dollfuss, Agassiz, Syst., p. 134.

³¹ Rendu, Théorie, p. 16.

³² Bibl. univ. 1835, T. LX, p. 460. — Agassiz, Syst., p. 133.

³³ Agassiz, Système, p. 135.

Rendu ³⁴ rechnet für die jährliche Schneemenge (comprimirt) auf den Glaciers réservoirs 2^m,707, die daraus entstehende Wassermenge soll wie die des Regens etwa 0^m,325, zusammen also 0^m,650, betragen, was zu wenig scheint. Schlaginweit ³⁵ setzt die Niederschläge der Alpen, freilich vorzüglich nach Thalbeobachtungen, von SW nach NO abnehmend, auf 1^m,468 bis 0^m,918 Wasser.

Als Endergebniss kann angenommen werden, dass die bis Anfangs Sommer gefallene 15—17 Met. hohe Schneeschicht unter dem Einflusse des Druckes und der atmosphärischen Agentien, von denen später die Rede sein wird, sich definitiv in eine Firnschicht umwandelt, welche von Rendu ³⁶ auf 1^m,57, von Agassiz ³⁷ auf 2 bis 2,50, von Schlaginweit auf 0,75 bis 1 Met. angeschlagen wird.

Auftreten des Firneises. — Tiefer unter der Oberfläche nimmt in Folge des wiederholten Eindringens und Gefrierens, so wie des nach unten wachsenden Druckes, die Dichtigkeit der Masse bis zu wahrem Eise, dem des eigentlichen Gletschers ähnlich, zu. Versuche von Schlaginweit ³⁸, in welchen Schnee dem Drucke einer hydraulischen Presse ausgesetzt wurde, erwiesen die Möglichkeit einer Umwandlung schon durch mechanische Kraft, wobei zugleich neben Luft 60 bis 68 0/0 Wasser aus der Masse herausgepresst wurden. Eine ähnliche Zunahme der Vereisung beobachtet man im Sommer auch an der Oberfläche des Gletschers, wenn man über die Firnlinie hinabsteigt. Da von dieser Gegend an die warme Jahreszeit mehr zerstört als die kalte wiedererzeugt, so treten immer tiefere und dichtere Firn-

³⁴ Rendu, Théorie, p. 18.

³⁵ Schlaginweit, Untersuch., p. 413.

³⁶ Rendu, Théorie, p. 62.

³⁷ Agassiz, Système, p. 136, 259.

³⁸ Schlaginweit, Untersuch., p. 46.

schichten wie eine geologische Schichtenfolge zu Tage und erleiden unter dem Einflusse der mildern Temperatur um so schneller die Umbildung in wahres Gletschereis. Natürlich reicht an ungleich ausgesetzten Gletschern die Vereisung an den Stellen und Seiten, die von der Sonne oder andern erwärmenden Ursachen stärker betroffen werden, weiter hinauf. So zieht sich das Eis auf dem östlich gerichteten Aargletscher³⁹ an der beschienenen Nordseite 2800 Met. weiter hinauf als auf der beschatteten Südseite; während auf dem nach Süden abfallenden Aletschgletscher die Trennung von Firn und Eis rein transversal ist.

Das Gletschereis. — Wie der Schnee durch Aufnahme von gefrierendem Wasser und durch eine beständige Arbeit der Cohäsionskräfte⁴⁰ zu körnigem Firn wird, so bildet sich durch Fortwirkung derselben Ursachen der Firn zu eigentlichem Gletschereis aus. Die körnige Struktur verschwindet mit der fortschreitenden Vereisung, die zusammenhängenden Zwischenräume der Körner füllen sich mit Wasser, die grosse Menge vorhandener Luft wird herausgedrängt, und es bleiben davon in der stetigen Eismasse nur kleine, ganz umschlossene Bläschen zurück.⁴¹ Ausserdem aber zeichnet sich das Eis des Gletschers von gewöhnlichem Wassereis durch eine zweite, ganz eigenthümliche Art der Porosität aus. Ein Gewebe feiner Absonderungen und Kanäle durchzieht unregelmässig die Masse, gestattet die Durchtränkung derselben mit Wasser und steht in Verbindung mit der Entstehung des sogenannten Gletscherkorns. Sind die Luftbläschen zahlreich und die Absonderungen leer von Wasser, so wird die Masse

³⁹ Agassiz, *Système*, p. 48.

⁴⁰ Forbes, XII Letter. Ed. phil. J. 1847, Avril, p. 147.

⁴¹ Glace brilleuse, vesicular ice.

wegen der vielen Lichtreflexionen undurchsichtig, matt und weiss, das weisse Eis; sind die Bläschen seltener, die Absonderungen häufig mit Wasser erfüllt, so findet das Licht eine homogene Masse, die durchscheinend und dunkler erscheint, das blaue Eis.⁴² Die verschiedenen Eigenschaften des Gletschereises sind Gegenstand specieller Untersuchungen geworden und verdienen auch hier eine nähere Erörterung.

Die Bläschen des Eises. — Die Luftblasen, aller Wahrscheinlichkeit nach der letzte Ueberrest des bedeutenden Luftinhaltes des Firnes⁴³, haben im obern Theile des Gletschers eine runde Gestalt, in der Tiefe des Eises hingegen — Agassiz⁴⁴ prüfte Stücke aus einer Tiefe von 65 Met. — und so auch gegen das Ende des Gletschers häufig eine platte, und erscheinen dann seitwärts gesehen als feine Linien, von oben als runde Scheibchen. Ob die platte Gestalt der Bläschen wirklich gesetzmässige Eigenschaft des ältern, tiefern Eises ist, verdient näher geprüft zu werden. Schlaginweit⁴⁵ scheint die platten Bläschen als die letzten Spuren mit Luft erfüllt gewesener geschlossener Haarspalten zu betrachten, allein die gleichmässige Vertheilung und parallele Stellung derselben in faustgrossen Eispartieen widerstreitet dieser Ansicht. Beim Wassereis beobachtet man häufig parallele, bald langgezogene, bald flachgelegte Bläschen, aber von anderem Ursprunge. Hier nämlich scheidet sich

⁴² Glace blanche et bleue von Agassiz und Desor.

⁴³ Es wird kaum nöthig sein, Hugi's Meinung zu widerlegen, zufolge welcher die Luft der Bläschen nicht ursprünglich eingeschlossen ist, sondern unter gewissen atmosphärischen und Temperaturverhältnissen sich im Eise erst ausscheidet und von demselben wieder absorbirt wird. Die Gletscher etc., p. 37.

⁴⁴ Agassiz, Système, p. 166.

⁴⁵ Schlaginweit, Untersuch., p. 24.

aus dem gefrierenden Wasser die absorbirte Luft aus und die Bläschen verlängern sich nach der Richtung, nach welcher das Eis wächst; dort dagegen ist die Luft schon vorhanden und die anfangs runde Gestalt scheint später erst, vermuthlich durch Wirkung eines starken, Jahrhunderte dauernden Druckes in eine platte umgewandelt worden zu sein. Versuche von Dollfuss⁴⁶ haben in der That gezeigt, dass Gletschereis, obgleich bei tieferen Temperaturen hart und spröde wie Glas, zunächst bei 0° in geringem Grade compressibel und nachgebend wird. Beweisen doch manche andere Erscheinungen, z. B. das Schwachwerden lange gepresster Federn, das Zerreißen lange gespannter Dräthe, dass die Cohäsionskräfte, anhaltend über einen gewissen Punkt in Anspruch genommen, allmählig weichen.

Die Luft des Eises. — Was die Menge der eingeschlossenen Luft betrifft, so hat Nicolet⁴⁷, vermuthlich durch Schmelzung, dieselbe wie folgt gefunden:

Aus 1 Kil. Firnschnee wurden erhalten 64 Kub. Centim. Luft,

„	„	weissen blasigen Eises	15	„	„	„
„	„	blauen blasenfreien Eises	1	„	„	„

Dollfuss⁴⁸ und Schlaginweit⁴⁹ bestimmten das specifische Gewicht des Eises, der eine durch Eintauchen in kaltes Wasser von 0°, der andere durch Abwägung gemessener Eiswürfel, und daraus lässt sich wieder berechnen, wie gross auf ein Gesamtvolumen von 1000 das Volumen des Eises und dasjenige der Luft ist.

⁴⁶ Agassiz, Système, p. 152.

⁴⁷ Agassiz, Syst., p. 158.

⁴⁸ Ebenda.

⁴⁹ Schlaginweit, Untersuch., p. 17.

	Spec. Gewicht.		Auf 1000 Vol.	
	Dollfuss.	Schlaginweit.	Eis.	Luft.
Dichter Firnschnee	0,628	—	698	302
Weisses Eis, viele Blasen	0,871	0,862	958	42
„ „ platte „	0,897	—	986	14
Blaues „ ohne „	0,909	0,915	1000	0
Wassereis	0,908	—	—	—

Bei der Schmelzung des Eises absorbirt das Wasser einen Theil der Luft, den Schlaginweit⁵⁰ durch Auskochen des Wassers und Aufsaugen des Gases bestimmt hat. Er findet aus 1000 Theilen Wasser

aus frischem Schnee	34	Luft
„ Firnschnee	24	„
„ weissem Eise	47	„
„ blauem Eise	28—30	„

Die Zahl 47 des weissen Eises entspricht der vollständigen Sättigung, wie sie bei Fluss- und Quellwasser nie getroffen wird. Die Zusammensetzung dieser Luft, mit dem verbesserten Gaylussac'schen Eudiometer geprüft, war verglichen mit gewöhnlicher atmosphärischer und nicht absorbirter Bläschenluft die folgende:

	100 Vol.		100 Gew.	
	Sauerstoff.	Stickstoff.	Sauerstoff.	Stickstoff.
Atmosph. Luft	20,8	79,2	23,1	76,9
Absorbirte Luft	29,0	71,0	31,7	68,3
Nichtabsorb. Luft	16,4	83,6	18,3	81,7

Wie bekannt, absorbirt das Wasser verhältnissmässig mehr Sauerstoff als Stickstoff, und daher muss die von den Bläschen übrigbleibende Luft umgekehrt mehr Stickstoff enthalten. Indess ist möglich, dass schon der ursprüngliche Luftinhalt der Bläschen, insofern sich die absorbirte Luft des

⁵⁰ Schlaginweit, Untersuch., p. 19, 20.

Schmelzwassers bei der Entstehung des Eises demselben beimengte, einen kleinen Sauerstoffüberschuss besass.⁵¹ Oft auch, wenn das Eis von der Nähe der Oberfläche stammt, enthalten die Bläschen in dem untern Theile des Raumes flüssiges Wasser, entstanden aus einer Absorption, welche die Wände der Bläschenräume auf die geringe Menge eindringender Sonnenwärme ausüben.⁵²

Infiltration des Gletschers. — Eine wichtigere Rolle als die geschlossenen Luftbläschen spielen die Haarspalten⁵³ im Gletscher, deren Dasein selbst im dichten Gletschereise zuerst von Agassiz⁵⁴ (1842) durch Infiltrationsversuche bestimmter nachgewiesen wurde. Auflösungen von Farbstoffen in Vertiefungen der Oberfläche gegossen, sieht man in doppelter Weise das Eis durchdringen, einmal bis auf gewisse Entfernung rasch nach allen Seiten, selbst nach oben, durch die Capillarkraft eines Netzwerkes feiner und wasserleerer Absonderungen, dann langsamer nach unten hin auf unbestimmte Tiefe unter dem stetigen Einflusse der Schwere. In einem Versuche erschien nach zwei Stunden der Farbstoff (Rothholz) in einer Tiefe von 5 Met. an dem Dache eines von einer Gletscherspalte aus eingehauenen Stollens; zwei Stunden später hatte sich derselbe vollständig an den Stollenwänden herab in grössere Tiefen gezogen. Ebenso sah Schlaginweit⁵⁵ 10 Met. unter der Oberfläche chromsaures

⁵¹ Schlaginweit, Untersuch., p. 21.

⁵² Agassiz, Système, p. 168 Schlaginweit, Untersuch., p. 17. — Das Eindringen der Sonnenwärme geht bekanntermaassen leichter vor sich als dasjenige der strahlenden Wärme andern Ursprunges.

⁵³ Fissures capillaires. Agassiz u. Desor. Am Rosenlauigletscher durch Blasen gegen die Wand einer Gletscherspalte. Desor, Excurs. et séjour dans les glaciers etc. Neuchatel 1844, p. 64.

⁵⁴ Agassiz, Système, p. 171.

⁵⁵ Schlaginweit, Untersuch., p. 12.

Kali an den Wänden einer Spalte erscheinen, die mehrere Meter von dem Ausgangspunkte der Flüssigkeit entfernt lag. Ja in einer Gletscherhöhle, 60 und 80 Met. unter der Oberfläche, waren im blauen Eise Spuren durchgedrungener Flüssigkeit bemerkbar. Hiernach wird der Gletscher bis auf die grössten Tiefen von einem zusammenhängenden Gewebe von Absonderungen durchsetzt, welche eine Durchtränkung seiner Masse mittelst des oberflächlichen Schmelzwassers und einen innern Abfluss des letztern unter dem Einflusse der Schwere gestatten. Immerhin darf nicht verschwiegen werden, dass Hugi⁵⁶, gestützt auf einen Versuch, in welchem der Farbstoff während einer ganzen Nacht nicht auf 1^m,5, zu einem horizontal getriebenen Loche gelangte, die Durchdringbarkeit des innern Gletschereises vollständig läugnet und diese Eigenschaft auf das der Luft und Wärme ausgesetzte äussere Eis beschränken will.⁵⁷

Stellt man einen Würfel von Gletschereis bald auf die eine, bald auf die andere Fläche, so entleeren sich die Haarspalten der obern Seite, füllen sich mit Luft und machen die Masse undurchsichtig, während diejenigen der untern Seite durch Anfüllung mit Wasser durchscheinend werden.⁵⁸ Dabei geht die Bewegung der Flüssigkeit wegen der Unregelmässigkeit der Absonderungen und der gleichzeitigen Luftverdrängung ruckweise vor sich.⁵⁹ Die Schnelligkeit dieser Bewegung hängt von der Menge und Grösse der Absonderungen und von dem Grade ihrer Wasseranfüllung ab. Im weissen blasenreichen Eise sind die Absonderungen seltener, kleiner; im blauen zahlreicher und grösser, als stände das Ver-

⁵⁶ Hugi, die Gletscher, p. 29.

⁵⁷ Die paradoxen Behauptungen Hugi's machen es schwer, auch das Thatsächliche seiner Versuche richtig zu deuten.

⁵⁸ Agassiz, Système, p. 176.

⁵⁹ Agassiz, Syst., p. 173.

schwinden der Bläschen mit der Entstehung der Haarspalten in gewisser Beziehung. Jenes lässt die Flüssigkeit spärlicher und langsamer, dieses reichlicher und schneller durch.⁶⁰ Schlaginweit⁶¹ erhielt auf 3 Met. Tiefe im blauen Eise schon nach 10 Minuten, im weissen erst nach 25 Minuten Spuren von Infiltration. Nachts bei einer Temperatur unter 0° sah Agassiz⁶² nach 5 Minuten schon den Farbstoff zu der Decke seines Stollens gelangen, während am Tage zwei Stunden nöthig gewesen waren, und er erklärt diesen auffallenden Unterschied aus der Gegenwart oder Abwesenheit von Schmelzwasser, aus der ungleich leichten Bewegung in den vollen und leeren Kanälen. Noch andere Erscheinungen beweisen das nächtliche Sinken des den Gletscher durchtränkenden Wassers: so z. B. das gleichförmige Ansehen der Gletscherfläche am Morgen, wenn durch die Entfernung der Flüssigkeit der Gegensatz des weissen und blauen Eises äusserlich verschwindet; das nächtliche Sinken des Wasserspiegels in Gruben, die durch eine Eisdecke vor der Verdunstung geschützt sind⁶³, u. s. f.

Das Gletscherkorn. — Unter dem Hammer trennt sich das Gletschereis nach der Richtung der an Gestalt und Verlauf sehr unregelmässigen Absonderungen. Oft sind die blossgelegten Flächen von feinen parallelen, welligen Runzeln überdeckt⁶⁴, deren Entstehung unerklärt ist, vielleicht mit der pulsirenden Bewegung des Wassers in Verbindung steht. Das Eis zwischen den Absonderungen hat einen mehr glasischen Bruch und bildet unregelmässige, stumpfeckige, knotig

⁶⁰ Agassiz, Syst., p. 175. Desor, Bibl. univ. 1843, T. XLIV, p. 333.

⁶¹ Schlaginweit, Untersuch., p. 15.

⁶² Agassiz, Système, p. 174.

⁶³ Schlaginweit, Untersuch., p. 62.

⁶⁴ Agassiz, Système, p. 163.

eingelenkte Brocken, das sogenannte Gletscherkorn. An dem frischen Gletschereise in kalter Luft vollkommen unkenntlich, wird dieses Korn erst unter dem Einflusse der warmen Luft und so auch des Hauches⁶⁵ dadurch sichtbar, dass oberflächlich längs dem Ausgehenden der Haarspalten und durch das Eindringen warmer Luft an ihren innern Wänden eine geringe Schmelzung beginnt. Durch eine fortschreitende Einwirkung der Wärme lockern sich dann die einzelnen Körner von ihrer weisslich gewordenen Rinde nach ihrem glasigen Kerne immer mehr auf, bis zuletzt die ganze Masse in einen groben Grus auseinanderfällt.⁶⁶ Wie Hugi zuerst bemerkte, wächst das Gletscherkorn vom Anfang nach dem Ende des Gletschers und so auch von der Oberfläche nach der Tiefe, wie es scheint also mit dem Alter des Eises und erreicht an der Decke der Gletscherhöhlen wohl eine Grösse von 5 und 6 Centimeter.⁶⁷

Ursprung der Haarspalten. — Der Ursprung des Gletscherkorns hängt offenbar mit demjenigen der Haarspalten zusammen, ist bis jetzt indess nicht vollständig gegeben worden. Es scheint, man müsse zweierlei Arten von Haarspalten unterscheiden. Die grössern verbreiten sich durch das blaue Eis, wenn auch in abnehmender Zahl, bis auf die grössten Tiefen, und vermitteln einen langsamen Abfluss des Wassers durch die ganze Dicke des Gletschers⁶⁸; die zweiten, kleinern kommen im weissen wie im blauen Eise vor, gehen oft als zahlreiche feine sich verlierende

⁶⁵ Desor nennt Pourtalès als Entdecker der Haarspalten (*Excursion et séjour*, Bibl. univ. Mars et Avril 1844, p. 64), obgleich das Gletscherkorn früher schon von Hugi genau beschrieben worden war (*Alpenreisen*, p. 341).

⁶⁶ Hugi, *die Gletscher*, p. 58.

⁶⁷ Hugi, *Alpenreise*, p. 341.

⁶⁸ Desor, *Compte rendu*. Bibl. univ., Mars 1844, p. 22.

Sprünge von den stärkern Absonderungen aus und sind vornehmlich an die Nähe der Oberfläche gebunden. Die letztern sind, wie Charpentier⁶⁹ angedeutet und Schlaginweit's⁷⁰ scharfsinnige Untersuchungen sehr wahrscheinlich gemacht haben, eine Wirkung der äussern Kälte. Da nämlich die Contraction des Eises durch Kälte bedeutend ist⁷¹, — nach Brunner⁷² $\frac{1}{26700}$, nach Struve⁷³ $\frac{1}{19200}$ für 1° C., — so wird die Kälte einzelner oder mehrerer Tage eine Contraction und damit ein mosaikartiges Aufspringen der obern Gletscherschicht bewirken müssen, wodurch das Eis für ein späteres Eindringen von Luft und Wasser geöffnet wird. Damit stimmt überein, dass die kleinern Sprünge des weissen Eises, wie das Stocken der Filtration es darthut, in 2 bis 3 Met. unter der Oberfläche mit einem ziemlich regelmässigen Niveau aufhören, in der Tiefe nämlich, bei welcher der Einfluss der äussern Kälte erlöscht.⁷⁴ Näher gegen die Grenze des Firnes liegt jenes Niveau wegen der grössern Kälte tiefer im Eise als nach dem Ende des Gletschers hin.

Was das Gewebe der grössern, tieferreichenden Absonderungen betrifft, so wurde dasselbe bald als die zufällige Begränzung des Gletscherkornes⁷⁵ betrachtet, das mit dem

⁶⁹ Charpentier, Essai, p. 76.

⁷⁰ Schlaginweit, Untersuch., p. 15, 25.

⁷¹ Hugi hielt stets an der Meinung fest, dass das Eis durch Kälte sich ausdehne. Die Gletscher, p. 14.

⁷² Brunner, Pogg. Ann. LXIV, p. 115.

⁷³ Struve, Pogg. Ann. LXIV, p. 298.

⁷⁴ Schlaginweit, Untersuch., p. 15.

⁷⁵ Hugi spricht von Gletscherkrystallen, obgleich die Körner als amorphe Eismassen zu betrachten sind und keine Spur von Krystallgefüge besitzen (Hugi, Alpenreise, p. 338). — Forbes (Lett. XII, Edinb. n. phil. J. 1847, April, p. 151) will am Aar-, Rhone- und Aletschgletscher breite krystallinische Blätter beobachtet haben; vermuthlich eine oberflächliche Erscheinung.

Firnkorne beginnend durch die ganze Länge des Gletschers fortbestehen und wachsen würde; bald als ein Ueberrest des frühern Luftinhaltes, gleichsam als unregelmässig zerdrückte und ausgebreitete Blasen; bald endlich als eine von Druck und Bewegung hervorgebrachte oder wenigstens unterhaltene Zertheilung. Welche von diesen Ansichten, die von Hugi, Agassiz und Forbes vertreten werden, die richtige ist, oder ob allen in gewissen Schranken einige Berechtigung zukommt, lässt sich ohne weitere Erfahrungen über die innern langsamen Vorgänge im Eise kaum entscheiden. Wichtig in dieser Beziehung wäre es, die von Agassiz und Desor gemachte Wahrnehmung zu bestätigen, dass jedes grössere Gletscherkorn seine platten Luftbläschen nach einer eigenen Richtung gestellt hat⁷⁶, denn daraus schiene nothwendig zu folgen, dass jedes derselben eigene individuelle Umstellungen erlitten habe.

Die innere Vereisung. — Wie dem auch sei, fasst man das Gesagte zusammen, so geht das Material des Gletschers durch drei Hauptzustände: den anfänglich lockern und krystallinischen Schnee, den aus gefrorenen Körnern zusammengesinterten Firn, endlich das durch Bläschen, Haarspalten und feine Absonderungen ausgezeichnete Gletschereis. Beide Umwandlungen sind Folge desselben Prozesses, bestehend aus einer oberflächlichen Schmelzung, einer darauf folgenden Durchtränkung, endlich einer fortschreitenden, durch Druck und neues Gefrieren bewirkten Vereisung.⁷⁷

Der Antheil Flüssigkeit, welcher bei dieser Umwandlung einwirkt und im Innern erstarrt, kann immerhin im Vergleich mit den Antheilen, die oberflächlich abfliessen oder durch den ganzen Gletscherkörper filtriren, nicht bedeutend sein.

⁷⁶ Agassiz, *Système*, p. 166.

⁷⁷ Forbes, *Trav.*, p. 173.

Denn es bedarf zur Eisbildung unumgänglich einer Temperatur unter 0, die im Innern der Masse nur auf gewisse Tiefe und nur kurze Zeit vorhanden ist. Im Winter nämlich stockt der ganze Prozess aus Mangel an Schmelzwasser, im Sommer und Herbst fehlt dem Innern des Gletschers ein höherer Kältegrad; einzig im Frühjahr sind beide Bedingungen vereinigt, und es vermag der durch die anhaltende Einwirkung des Winters bis auf eine gewisse Tiefe erkältete Gletscher dem eindringenden Wasser seine gebundene Wärme zu entziehen und dasselbe zum Erstarren zu bringen. Allein durch eben diese Wärme gelangt das Eis bald wieder auf 0, so dass von da an im Verlaufe des übrigen Jahres die innere Vereisung stocken muss. Allerdings, je höher man gegen die Firngränze und über dieselbe hinansteigt, desto länger dauern jene günstigen Verhältnisse, bis dieselben in einer Höhe, wo die Bodentemperatur selbst unter 0 steht, einen grossen Theil der wärmeren Jahreszeit fortbestehen.

Einwirkende Umstände. — Wie rasch die verschiedenen Zustände des Schnee's, des Firnes, des Firneises und Gletschereises durchlaufen werden, wie vollständig sie sich entwickeln, hängt von der Länge, der Mächtigkeit, dem Gefälle, der Höhe des Gletschers ab. An fortbestehenden isolirten Schnee- und Firnmassen fehlt der allmälige Uebergang zu der vereisten Unterlage und das Gewebe der Haarspalten entwickelt sich nicht. An Gletschern zweiter Ordnung mit starkem Fall und geringer Mächtigkeit steht ebenfalls die Ausbildung des wahren Gletschereises zurück, der oberflächliche Firn reicht weiter hinab als sonst und kann bei sekundären Zuflüssen eines Hauptgletschers oft lange nach ihrer Vereinigung an seinem weniger entwickelten Eise erkannt werden. Nach Schlaginweit⁷⁸ soll auch die Grundlage des

⁷⁸ Schlaginweit, Untersuch., p. 43.

Gletschers auf dessen Entwicklung Einfluss haben. Es sollen z. B. grössere Gletscher mit ausgebildeten Absonderungen im Kalkgebirge eine Seltenheit sein, weil die zerklüftete Unterlage keine vollständigere und dauernde Durchtränkung der Gletschermasse gestattet. Indessen lässt sich bezweifeln, dass die bisher bekannt gewordenen Thatsachen zum Nachweise dieses Momentes neben dem Einflusse der vorgenannten genügend seien, zumal der Gletscher nur sehr unvollständig aufliegt, daher dem unmittelbaren Verhalten des Bodens gegen Wasser grossentheils entzogen bleibt.

V. Die Trümmer der Gletscher.

Vorwort. — Um das Bild des äussern Gletschers bis in seine Einzelheiten zu vollenden, bleiben noch drei Erscheinungen zu erörtern: das Auftreten der Steintrümmer und fremden Körper, die Zerklüftung des Gletschers und endlich die Wirkungen der Abschmelzung. Alle drei Erscheinungen gehören vorzugsweise der Region des eigentlichen Gletschers an; jenseits der Firnlinie verwischt die jährlich sich erneuernde Schneedecke, gleichwie es im Tieflande zur Winterszeit der Fall ist, die Besonderheiten der Oberfläche, und das Auge sucht vergeblich nach Merkmalen zur Wiedererkennung.

Die Zertrümmerung des Gebirges. — Alle Gebirge der Erdoberfläche sind einem unaufhaltsamen, wiewohl langsamen Prozess der Verwitterung und Zerstörung ausgesetzt, der dahin zielt, die hervorragenden Theile zu erniedrigen und ihre Trümmer unter dem Einfluss der Schwere mehr und mehr zerkleinert nach der Tiefe zu führen. Chemische Veränderungen durch den Sauerstoff und die Kohlensäure der Luft hervorgebracht, Auflösungen einzelner Stoffe durch atmosphärische oder Schmelzwasser, häufige Wechsel der Temperatur sind die ersten Ursachen, welche das feste Steingefüge schwächen; dann füllen sich die kleinen Poren, Lücken und Sprünge mit Wasser, das bei jedem Froste gefriert und durch seine unwiderstehliche Ausdehnung die betroffenen Theile vollends lockert und in Stücke löst; endlich kommen die mechanischen Wirkungen des Windes, des strömenden Regens, der fliessenden Bäche, der Druck

anderer Theile oder des Schnees, der Stoss herabfallender Steine u. s. f. hinzu und setzen die Bruchstücke in Bewegung, dass sie entweder als kleinere Brocken auf Schutthalden herabrollen oder am Fusse der Felsen in grossen Trümmernmassen sich sammeln. Durch Bewegung und Wasser mannigfach verändert, dienen sie zuletzt gewöhnlich dazu, den Boden der Thäler zu erhöhen und zu ebenen, die Böschung der Abhänge sanfter zu machen und auszugleichen; wo aber ein Gletscher den Grund des Thales einnimmt, gelangen sie nicht bis zur Sole desselben, sondern fallen entweder auf den Rand des Gletschers oder in die offene Kluft, die ihn oft von der Thalwand scheidet.

Die Region starker Zertrümmerung. — In den grossen Mulden über der Firngränze und auf den noch höher liegenden Feldern von Hochschnee sieht man die weisse Fläche selten von Steintrümmern unterbrochen. Dazu tragen vorzüglich zwei Ursachen bei: Vorerst sind die bleibend mit Schnee bedeckten Abhänge vor plötzlichen und starken Temperaturveränderungen und vor mechanischen Einwirkungen geschützt, und gerathen daher, mit Ausnahme der entblösten, meist aber festern Felswände, nicht leicht in Bewegung. Dann aber zweitens versinken die auf den lockern Firn fallenden Trümmer in der wenig widerstehenden Masse ¹ und werden bald wieder von neuen Schneelagen oder zusammengewehten Anhäufungen verdeckt. Dazu kommt, dass nur die Ränder, nicht aber die weite Fläche der Firnmulden von Steinstürzen erreicht werden, diejenigen Stellen also, die ebenfalls den verhüllenden Lawinen und Schneefällen besonders ausgesetzt sind. So erklärt sich, dass erst tiefer, in Folge der fortschreitenden Schmelzung, die von höher herstammenden Trümmer wieder an der Oberfläche

¹ Agassiz, Etudes, p. 105.

erscheinen und dadurch die Gränze bezeichnen helfen, wo der Firn aufhört und der wahre Gletscher beginnt ². Die Menge der Trümmer höhern Ursprunges steht aber zurück neben derjenigen, die aus der etwas tiefern Gegend auf den Gletscher gelangt. In der That erleidet keine Region eine so starke Verwitterung und Zertrümmerung als die 1000 Met. breite Zone, innerhalb welcher die Schneegränze fällt; denn in keiner wird von den höhern Schneefeldern her eine so beständige Feuchtigkeit unterhalten, in keiner fehlt es so sehr an einer schützenden Bekleidung von Schnee oder Vegetation, in keiner endlich wechselt während des Jahres die Temperatur so oft über und unter dem Eispunkte. Die Zeit der starken Schneeschmelze, Ende Frühling und Anfang Sommer, wo diese Momente am stärksten wirken, ist zugleich diejenige der eingreifendsten Auflockerung und Zerstörung.

Verschiedene Arten von Morainen. — Trümeranhäufungen oder Morainen ³ können auf allen Seiten der nach der Tiefe sich erstreckenden Gletscherzunge erscheinen und umgeben sie oft so vollständig, wie Schlackenscherben einen Lavastrom umhüllen. Man unterscheidet gewöhnlich: Seitenmorainen oder Gandecken (Moraines latérales), Endmorainen ⁴ (Moraines frontales ou terminales), Mittelmorainen oder Gufferlinien ⁵ (Moraines

² Hugi, Alpenreise, p. 359. — Martin, Remarques, Ann. d. sc. géol. 1842, p. 12. — Agassiz, Système, p. 49.

³ Die erste recht gründliche und vollständige Auseinandersetzung über die Morainen gibt Charpentier in seinem Essai sur les Glaciers. Lausanne 1841.

⁴ End- und Seitenmorainen werden in der östlichen Schweiz Firnstoss genannt.

⁵ Guffer bezeichnet im Allgemeinen Gletscherschutt; die Bezeichnung Gufferlinie rührt von Hugi her. Alpenr., p. 359.

médianes ou superficielles⁶⁾, endlich Grundmorainen (Moraines profondes ou couches de boue⁷⁾).

Die Seitenmorainen. — Die Seitenmorainen bilden zwei lange Schuttwälle, welche die Seiten des Gletschers begleiten und bald auf dem verborgenen Eise des Gletschers, bald auf dem Abhange der Thalwände ruhen. Da zu den Trümmern, welche der Gletscher bei seiner Fortbewegung aus der Firnregion mitbringt, immer neue, sei es von dem gewölbten Rücken desselben herabrollen, sei es von den Berghängen und Bergrinnen hinzukommen, so wächst der Wall immer mehr und erreicht oft eine bedeutende Höhe⁸. Forbes⁹ führt eine Seitenmoraine des Macugnagletschers an, die eine Höhe von mehr als 60 Met. erreicht. In seltenen Fällen, wie z. B. an der linken Seite des Aargletschers¹⁰, kann eine Seitenmoraine desshalb fehlen, weil ihre Trümmer an der Seite des Gletschers vom Eise überwältigt und verschlungen werden. Nach aussen fallen die Seitenmorainen mit 35 bis 40°¹¹ gegen den Berg ab, unter welchem Winkel eine ungeordnete Schuttmasse sich halten kann. Bleibt der Gletscher stationär oder rückt er vor, wobei das Eis unter die Schuttmasse greifend dieselbe vor sich her schiebt, so lehnt sich die Moraine oft hoch auf und an den Gletscher; weicht er hingegen zurück, was man sich nicht als einen wirklichen Rückzug der Eismasse, sondern als ein Verschwinden ihrer Rand-

⁶ Diesen Ausdruck gebraucht Charpentier. Essai, p. 53. — Rendu nennt sie traînées de rochers. Théorie, p. 67.

⁷ Der erstere Ausdruck bei Martin, Revue des deux mondes XVII, März 1847; der zweite bei Agassiz, Système, p. 118.

⁸ Agassiz, Etudes, p. 101.

⁹ Forbes, Travels, p. 346.

¹⁰ Agassiz, Système, p. 110.

¹¹ Charp. Essai, p. 47.

theile durch Schmelzung zu denken hat, so lässt er seine Morainen als freie Schuttwälle zurück ¹², die man dann etwas über dem Gletscher in langen Linien hinlaufen sieht. — Was aber die Seitenmorainen vor allem auszeichnet, ist die völlige Ordnungslosigkeit der Trümmermasse ¹³, sowohl in Bezug auf Grösse als auf Beschaffenheit ihrer Bestandtheile. Während einerseits alle vom Wasser gehäuften Bildungen eine Anordnung und Sonderung nach der Schwere zeigen, anderseits die von Bergstürzen und Schlipfen verursachten Anhäufungen bei grosser Unregelmässigkeit der Anordnung eine leicht erklärliche Gleichartigkeit der Trümmer aufweisen, finden sich in den Seitenmorainen Massen der abweichendsten Grösse, mächtige Blöcke, abgestossene Felsstücke, gerundete Steine, Sand, Erde, Schlamm regellos durch einander geworfen und oft sehr verschiedenartige Felsarten zusammengedrängt, die von allen möglichen Stellen der gleichen höhern Thalwand herrühren können.

Endmorainen. — Mehrere dieser Merkmale kommen den Endmorainen in noch auffallenderer Weise zu. Ihre Mächtigkeit ist meist noch grösser ¹⁴, weil die sämtlichen Trümmer, welche der Gletscher auf seinem ganzen Wege auffängt und fortschafft, zuletzt an sein Ende gelangen und da von Jahrhunderten her sich häufen. Endmorainen von 30—40, ja von 50—100 Met. sind bei langen Gletschern in zerfallendem Gebirge keine Seltenheit. Dabei bildet der Wall einen nach dem Thalabfall vorspringenden Bogen, der sich seitwärts an die Seitenmorainen anfügt und an einer Stelle für den Durchgang des Gletscherbaches eingeschnitten ist. Endet der Gletscher, wie es bei solchen

¹² Charp. Essai, p. 49.

¹³ Charp. Essai, p. 46.

¹⁴ Charp. Essai, p. 45.

zweiter Ordnung häufig der Fall ist, an einem Felsabsturz — Charpentier ¹⁵ nennt mehrere Gletscher des Bagnes- und des Nicolaithales — so vertritt eine unregelmässige Schutthanhäufung am Fusse des Absturzes die eigentliche Endmoraine und enthält die herabgeführten Trümmer. Weil am Ende die Schwankungen des Gletschers am bedeutendsten sind, zeigen sich auch die Erscheinungen theils freistehender, verlassener, theils in Bildung begriffener zerborstener und zerwühlter Wälle am auffallendsten. Mehrfache Wälle, wie an den meisten Gletschern der Montblanc-kette ¹⁶, am Miagegletscher z. B. 4 bis 5 ¹⁷, beobachtet werden, sind immer ein Zeichen eines wiederholten, immer enger begränzten und von Zeiten des Rückzuges unterbrochenen Vorrückens. Der äusserste Wall bezeichnet die grösste Länge, die der Gletscher je erreicht, der innerste die Gränze seines jüngsten Wachsthums.

Wirkungen des Gletscherschubes. — Drängen beim Vorrücken die Thalwände den Gletscher zusammen oder stösst er auf Hindernisse, so wühlt er gleich einer Pflugschar den Boden bis auf den Fels ¹⁸ auf und treibt alles, was vorliegt, mit unwiderstehlicher Gewalt vor sich her ¹⁹. So sah Saussure ²⁰ einen Block von 14 Met. Seite vom Eisschube zum Sturze gebracht werden; Charpentier ²¹ erwähnt eines Serpentinblockes von 20 Met. Seite,

¹⁵ Charp. Essai, p. 51.

¹⁶ Charp. Essai, p. 53.

¹⁷ Forbes, Travels, p. 193.

¹⁸ Bischoff, Wärme der Erde, p. 132.

¹⁹ Wie jede über Gletscher ausgesprochene Vermuthung ad absurdum getrieben wurde, so hat auch Godefroy der wühlenden Wirkung die Entstehung der Morainentrümmer selbst zuschreiben wollen. Notice sur les glaciers. Genève 1840.

²⁰ Saussure, Voyages, I. § 538, p. 460.

²¹ Charp. Essai, p. 41.

der vom Schwarzberggletscher im Saasthal fortgedrängt wurde, und sah, wie der Trientgletscher Theile eines Hochwaldes schonungslos unterwühlte und umstürzte. Escher v. d. Linth ²² fand am Zmuttgletscher sogar festen Felsboden, der vom Eise zerrissen und aus einander gelöst wurde. Anderswo hingegen, wenn der Gletscher sich als dünne Lage freier ausbreitet, verschiebt er sich, selbst über Alluvialboden, ohne zu wühlen ²³, und man sieht bisweilen nach mehrjähriger Eisbedeckung den Grasteppich wieder unverletzt zum Vorschein kommen ²⁴.

Die Fläche, welche der Gletscher bei seinem Rückzuge hinter der Moraine zurücklässt, heisst Gletscherboden (Fond de glacier) ²⁵. Sie ist gewöhnlich von unregelmässigen Schutthaufen oder einzelnen Steintrümmern überstreut, die theils unter dem Gletscher lagen, theils beim Abschmelzen von seiner Oberfläche herabrollten. Aus diesem mehrfachen Ursprunge erklärt sich, dass die Trümmer des Gletscherbodens und der Endmorainen ihrer Grösse, Gestalt und Beschaffenheit nach noch mannigfacher sein müssen als die der Seitenmorainen, doch ist eine gewisse Gruppierung nicht zu verkennen, indem sich seitwärts diejenigen der einzelnen Seitenmorainen, in der Mitte die der Mittel- und Grundmorainen zusammenfinden. Da der vorrückende Gletscher jede Stelle seiner Endmorainen gerade vor sich her drängt, ohne eine seitliche Zusammenschiebung zu bewirken wie die Seitenmorainen, so fehlt auch jede Ursache, welche die Trümmer verschiedener Stellen nach der Länge des Dammes bedeutend vermengen könnte.

²² Escher, Mündliche Mittheilung.

²³ Charp. Essai, p. 43.

²⁴ Charp. führt den Gl. du Tour im Chamounithal an, der nach vierjährigem Uebergriff (1817—1822) den Rasen nicht zerstört hatte. Essai, p. 97.

²⁵ Charp. Essai, p. 48.

Mittelmorainen oder Gufferlinien. — Wohl die eigenthümlichste Anordnung, deren Entstehung selbst von Saussure ²⁶ verkannt, von Kuhn ²⁷ aber und nach ihm von Charpentier richtig gedeutet wurde ²⁸, zeigen die Mittelmorainen, oft auch Gufferlinien genannt, welche als lange Trümmerlinien, oft in Gestalt hoher Dämme, oft nur als eine Reihe einzelner Steine, über die ganze Länge des Gletschers hinabsteigen ²⁹. Der Gornergletscher z. B. hat 7 bis 8 durch ihre Schärfe und ihren Parallelismus ausgezeichnete Gufferlinien ³⁰; der Aargletscher ³¹ zählt deren von der grossen Mittelmoraine, welche den Lauter vom Finsteraarzufluss scheidet, auf ersterem 7, auf letzterem 8, jede durch eigne Felsarten ausgezeichnet. Verfolgt man sie, selbst durch die Firnregion aufwärts, so sieht man jede an einem Felsvorsprung beginnen, der zweien Gletscherzuflüssen zur Trennung dient, und sie erscheint als die durch das stete Vorrücken des Gletschers in die Mitte genommene und nach Einer Linie ausgezogene Vereinigung der Randmorainen beider Arme. Da in der Regel jeder Gletscherzufluss wenigstens Spuren von Seitenmorainen hat und die festen Eismassen sich nicht durch einander mengen, sondern nur an einander hinbewegen können, so wird der zusammengesetzte Gletscher unterhalb der Firngränze in so

²⁶ Saussure hielt sie für Randmorainen, die nach der Mitte des Gletschers vorrücken, eine Bewegung, die in der Wirklichkeit nicht stattfindet. Voyages, I, p. 456, § 536. T. Charpentier erblickte darin aus dem Innern hervorgetriebene Trümmer. Ueber Gletscher in Grilb. Annal. d. Ph. LXIII.

²⁷ B. Fr. Kuhn, Höpfners Magaz. 1787, I. — III. p. 427.

²⁸ Charp. Essai, p. 54.

²⁹ Treue Abbildungen findet man sowohl in Forbes Travels als im Atlas zu den Etudes von Agassiz.

³⁰ Charp. Essai, p. 57.

³¹ Agassiz, Etudes, p. 107.

viele Abtheilungen durch Stein- und Trümmerlinien getheilt, als wesentlich verschiedene Zuflüsse vorhanden ³² sind, wobei ihre Anordnung der Reihenfolge der einmündenden Zuflüsse, ihre Breite der Stärke derselben, die Grösse ihrer Zwischendämme der Ausdehnung und Zerstörbarkeit ihrer Uferwände entspricht. Die grosse Mittelmoraine des Aargletschers, vielleicht die grösste bisher beobachtete, beginnt am Abschwung und erreicht eine Höhe von 42 Met. und eine Breite, die gegen das Ende auf mehr als 200 Met. wächst ³³.

Die Mittelmorainen folgen dem Verlaufe des Gletschers, man sieht sie mit dem Eisstrom sich biegen und wenden, wo derselbe zusammengedrängt wird, sich verengen, wo er Breite gewinnt, sich ebenfalls ausbreiten ³⁴, selbst über Gletscherbrüche hinab sich erhalten und unten an denselben sich ungestört fortsetzen ³⁵. Tiefer nach dem Ende hin verwischen sich die scharfen regelmässigen Trennungen, die mächtigern Gletscherarme greifen über die schwächern und drängen sie, schiefe Morainen bildend, zur Seite ³⁶; die geringern schmälern Zuflüsse keilen sich unter Vereinigung ihrer beidseitigen Morainen zwischen den stärkern aus; die grössern Zwischendämme, nachdem sie sich lange erhoben gehalten, breiten sich durch ein Herabgleiten ihrer Trümmer, vielleicht auch durch ein Auseinandergehen des Eises immer mehr aus ³⁷, bis sie am Ende, bei trümmerreichen Gletschern wenigstens, eine allgemeine, das Eis ganz verhüllende Schuttdcke bilden ³⁸. So beob-

³² Charp., Essai, p. 57.

³³ Agassiz, Système, p. 112.

³⁴ Charp., Essai, p. 54. Agassiz, Système, p. 115.

³⁵ Forbes, Travels, p. 95.

³⁶ Agassiz führt eine Moraine oblique an der Vereinigung des Gorner- und Monte-Rosa-Gletschers an. Etudes, p. 120.

³⁷ Agassiz, Système, p. 108.

³⁸ Agassiz nennt sie Nappe de blocs. Etudes, p. 122.

achtet man es z. B. am Aar-, am Miage- und am Zmuttgletscher ³⁹. Seltener erscheint der Gufferschutt in vereinzelt Inseln ohne Schweif auf der Gletscherfläche oder als eine Reihe regelmässiger Anhäufungen. Die erstern (*Moraines passagères* ou *d'éboulements* ⁴⁰) rühren von einzelnen Steinstürzen her, die von überhängenden Felsen die Eisfläche erreichten, die zweiten, wie es Charpentier ⁴¹ für den Gornergletscher erläutert, von jährlich im Frühling sich wiederholenden stärkern Zertrümmerungen.

Die Trümmer der Gufferlinien. — Meist unterscheiden sich die Trümmer des Gufferschuttes von denen der andern Morainen durch zwei Merkmale: die scharfe Sonderung ihrer Gesteine, oft schon aus der Ferne an der verschiedenen Farbe kenntlich ⁴², die daher rührt, dass jede Gufferlinie, vorzüglich von Einer Stelle, von den beiden Seiten Eines Berges genährt wird, und zweitens durch die eckige und kantige Gestalt ihrer Blöcke, da diese selbst bei den grössten Dimensionen ohne Abstossung und Reibung wie auf einem Schlitten von dem Eise fortgetragen werden ⁴³. Gerundete Blöcke, die man unter den Trümmern der Seiten- und Endmorainen häufig findet, fehlen den Gufferlinien fast ganz.

Die Grundmoraine. — Umgekehrt verhält es sich mit den Steintrümmern, welche unter dem Gletscher die Grundmoraine zusammensetzen. Durch den furchtbaren Druck, welchen die 50—100 Met. hohe Eislast gegen den Grund und die Wände des Gletscherbettes ausübt, werden weichere Trümmer völlig zermalmt, zu Sand und Staub

³⁹ Agassiz, *Etudes*, p. 123. Forbes *Travels*, p. 307, p. 45.

⁴⁰ Agassiz, *Etudes*, p. 111, und *Système*, p. 109.

⁴¹ Charp., *Essai*, p. 57.

⁴² Agassiz, *Système*, p. 108.

⁴³ Agassiz, *Système*, p. 118.

zerrieben, festere in Stücke zersprengt, an den Ecken abgestossen, endlich zu wahren Rollsteinen gerundet ⁴⁴, mit welcher Gestalt sie dann, vermengt mit eckigen Guffertrümmern, in die Endmorainen und in die Bedeckung des Gletscherbodens eingehen. Während die andern Morainen Felsarten der verschiedensten Art als grössere Massen aufweisen können, ist diess bei den Grundmorainen nur mit festern Gesteinen ⁴⁵, Granit, Gneiss, Protogin, Gabbro der Fall, indem die weichern Schiefer, Sandsteine und Kalke grossentheils zu Sand und Schlamm umgewandelt werden. Merkwürdig ist, dass die Gletschergerölle bei aller äusseren Aehnlichkeit doch im frischen Zustande leicht von Stromgeröllen unterschieden werden. Die Abrundung der letztern entsteht nämlich aus zahllosen leichten Stössen der an einander treffenden und rollenden Steine, diejenige der Gletschergerölle durch ein langsames, unter starkem Druck vor sich gehendes Wälzen und Schieben. Jenes bewirkt eine selten vollkommene Politur, bestehend aus immer kleiner werdenden unregelmässigen Abstossungsflächen, dieses eine oft spiegelnde Glätte, wie durch Putzpulver hervor gebracht, unterbrochen von haarfeinen scharfen Furchen, den Spuren einschneidender Körner ⁴⁶. Diese eigenthümliche Beschaffenheit der Oberfläche, weit entfernt von der Stromreibung unterstützt zu werden, wird von derselben umgekehrt wieder vertilgt; nach Martins ⁴⁷ verschwindet an den allerdings weichen Kalkgeröllen des Grindelwald-

⁴⁴ Agassiz, Etudes, p. 100. — Kuhn sah 1779 auf dem Gletscher des Mattenberges einen mächtigen Granitblock zwischen Eis und Fels eingeklemmt, in einigen Wochen in Stücke zerfallen, von denen keines 1 Kubikfuss hielt. Höpfners Magaz. 1787, T. 1, p. 131.

⁴⁵ Agassiz, Etudes, p. 101.

⁴⁶ Agassiz, Etudes, p. 188 u. ff.

⁴⁷ Martin, Revue des deux mondes, T. XVII, März 1847.

Ed. new phil. Journ. 1847, Apr. — Oct., p. 68. — 1851, L. p. 310.

gletschers die Furchung durch die Bewegung im Gletscherbach schon nach 300 Met.; Ed. Collomb bewirkte dasselbe durch künstliche Reibung in 24 Stunden. Ueberhaupt lässt sich im gegenwärtigen Gang der Natur keine Kraft angeben, die solche Furchungen hervorbrächte, und sie dienen, wo sie sich finden, als ein untrügliches Merkmal des Daseins früherer Gletscher.

Ursprung der Grundmorainen. — Den Ursprung der Grundmorainen muss man übrigens mehr in den Schuttanhäufungen der Oberfläche als in einer Zertrümmerung der Felsen unter dem Gletscher suchen, welche durch die lange Wirkung des Eises längst zu einem regelmässigen Bette ausgeglichen worden sind. Trümmer der Mittelmorainen können zwar bei der Entstehung oder spätern Erweiterung von Spalten in das Innere des Gletschers fallen, dieser Beitrag zur Bildung der Grundmoraine bleibt aber ein sehr untergeordneter, weil vorerst die Gletscherspalten selten die grössern Gufferlinien durchsetzen, dieselben selten die Eismasse bis auf den Grund durchdringen, endlich und vorzüglich weil ihr mit den Trümmern gleichzeitiges Fortrücken die Annäherung und Aufnahme derselben nicht gestattet. Daher stammen die meisten Rollsteine unter dem Gletscher von den Randmorainen her ⁴⁸, von welchen grosse Parteen durch Randklüfte verschlungen werden, welche der nur langsam sich ausbreitende Gletscher hinter Felsvorsprüngen zurücklässt oder durch eine Ende Sommers häufig eintretende Ablösung von den Thalwänden bildet. Man kann da die Versenkung und gewaltsame Zerarbeitung der zwischen Eis und Fels eingekeilten Felsstücke oft aufs deutlichste verfolgen ⁴⁹.

⁴⁸ Agassiz, Système, p. 110, 119.

⁴⁹ Siehe die Darstellung einer solchen Stelle in Forbes, Travels, T. III.

Unreinigkeiten des Eises. — Eine Frage, die vielfach erörtert, vielleicht aber immer noch nicht ganz zum Abschlusse gebracht worden ist, betrifft die grosse Reinheit des Eises im Innern des Gletschers. Freilich kann hierbei nur von einer Reinheit mit Rücksicht auf grössere Trümmer die Rede sein, denn kleinere Verunreinigungen sind im Gegentheil eine sehr häufige Erscheinung ⁵⁰. Durch Schmelzen von scheinbar ganz reinem Eise aus einer Tiefe von 7 Met. erhielt Agassiz ⁵¹ einen Rückstand von $2\frac{1}{2}$ Gramm auf den Liter, vermuthlich Erd- und Staubtheile, welche schon in der Firnregion auf den Schnee fielen, theilweise vielleicht auch von Infiltrationswasser in das Eis gebracht wurden. Nester und Linien von Sand, Erde und organischen Theilen kommen an der Oberfläche des Gletschers, selbst weit von Morainen, nicht selten vor, sind aber offenbar nur kleine Anschwemmungen oberflächlich rinnender Wasseradern ⁵²; seltener entdeckt man solche an den Wänden der Spalten, als Spuren ähnlicher Wirkungen aus einer Zeit, da diese Stellen die Oberfläche des Firnes bildeten. Forbes ⁵³ am Bosson, Desor ⁵⁴ am Aargletscher sahen mehrere Fuss eindringende eingefrorene Lagen von Steinchen in der Nähe und parallel den Morainen, deren noch unaufgeklärte Entstehung vielleicht mit der Bewegungsweise des Gletschers in Beziehung steht. Die Seiten-, Mittel- und Grundmorainen geben bisweilen auch die Veranlassung zur Entstehung wahrer Sandsteine, Breccien und Konglomerate mit Eiszement ⁵⁵. Allein diese Bildungen alle gehören der Be-

⁵⁰ Escher von der Linth, Poggend. Ann. LVI, p. 641.

⁵¹ Agassiz, Système, p. 151.

⁵² Charp., Essai, p. 75.

⁵³ Forbes, Travels, p. 181.

⁵⁴ Desor, Compte rendu Bibl. univ. 1843. T. XLIV, p. 40.

⁵⁵ Notizen von Escher, der Eissandsteine am Fletschhorn gl., Eiskonglomerate am Vieschgl. beobachtete.

gränzung und nicht dem Innern des Gletschers an, welches nur höchst selten fremde Körper enthält, und dann noch, wie Agassiz⁵⁶ aus der Beschaffenheit des umhüllenden Eises folgert, nur als Folge der Schliessung und Vereisung früherer Spalten.

Die austossende Kraft des Gletschers. —

Stellt man mit der auffallenden Reinheit der Hauptmasse des Gletschers noch die beiden Thatsachen zusammen, dass erstens die Menge der oberflächlichen Trümmer gegen das Ende des Gletschers hin auf eine oft auffallende Weise zunimmt, und zweitens, dass die Mittelmorainen meist nur eine dünne, kaum 1 bis 2 Met.⁵⁷ mächtige Schutt- und Trümmerlage über einem Damm von reinem Eise bilden, so begreift sich die im Munde des Volkes lebende und von manchen Physikern gutgeheissene Annahme einer besondern Kraft, mit welcher der Gletscher alle fremden Körper aus seinem Inneren austossen soll.⁵⁸ Dass in Spalten gefallene Körper⁵⁹, in künstliche Löcher versenkte Steine⁶⁰, von Firnschnee umschlossene Morainentrümmer, nach kürzerer oder längerer Zeit an einer tiefer liegenden Stelle wieder zum Vorschein kommen, ist eine erwiesene Thatsache; aber wie diess geschieht, wurde ungleich er-

⁵⁶ Agassiz, Etudes, p. 104.

⁵⁷ Charpentier, Essai, p. 58. Agassiz, Système, p. 113.

⁵⁸ Man findet diese Annahme mehr oder weniger bestimmt ausgesprochen bei Biselx, T. de Charpentier, Hugi, Bischoff, Elie de Beaumont, J. de Charpentier, Agassiz und Forbes, während früher Saussure (Voyag. I, § 537, p. 456) sie in Zweifel zog.

⁵⁹ Forbes erzählt den Fall eines Tornisters, der auf dem Talèfre-gletscher 1836 in einer Spalte blieb und 1846 4300 Fuss weiter, 1145 Fuss tiefer wieder zum Vorschein kam. Edinb. n. phil. J. XLII, p. 144.

⁶⁰ Dahin gehören die später erörterten Versuche über die Ablation.

klärt. Die früher von Hugi⁶¹ und Agassiz⁶² versuchten Erklärungen eines Empordrängens der Steine, durch das bedeckende Eis hindurch, vermöge einer Körnerbildung und Vereisung unter denselben, widerspricht physikalischen Gesetzen, und es scheint festzustehen, wie es Venetz und Charpentier⁶³ impliciter annehmen, dass ein Block nicht anders als durch eine Auftreibung des Gletschers, zugleich mit der ihn umgebenden Eismasse, steigen könne. Allein durch dieses Steigen, das nach Martin's⁶⁴ richtiger Bemerkung als eine beständige Erscheinung der Gletscher weder wahrscheinlich noch erwiesen ist, wird das Heraustreiben der Blöcke aus dem Eise keineswegs erklärt, und man wird zur Erklärung desselben, gleich wie ohne die Voraussetzung einer Hebung, auf die Abschmelzung als auf die einzige genügende Ursache hingewiesen. Indem sie von der Firngränze an bis zum Ende des Gletschers folgeweise alle Tiefen des Eises erreicht, alle Schichten desselben auflöst, führt sie allmählig auch den ganzen Stein- und Trümmerinhalt desselben an das Tageslicht. Die Trümmer, welche einzeln zerstreut oder auf wenigen Stellen vereinigt, im Vergleich mit der ungeheuern Eismasse verschwanden, genügen, an der Oberfläche ausgeschieden und in Eine Fläche gesammelt, eine vollständige Bedeckung des Gletscherendes zu bilden. Zudem ergibt sich aus den frühern Erläuterungen bezüglich auf die Entstehung der Seitenmorainen, dass ihre Trümmer in grösserer Menge nur die letzten oberflächlichen Randtheile des Firnes erreichen, die ganze Breite und Tiefe der Muldenausfüllung aber unberührt lassen: kein Wunder

⁶¹ Hugi, Alpenreise, p. 362.

⁶² Agassiz. Etudes, p. 105.

⁶³ Charpentier, Essai, p. 68.

⁶⁴ Martin, Ann. de la soc. de géol. par Riv. 1842, p. 9.

also, dass bei der Verschmelzung zweier Gletscherarme durch ihre ganze Dicke die oberflächlichen Randmorainen auch wieder zu einer oberflächlichen Mittelmoraine vereinigt und gehoben werden. Die Fälle ausgenommen, wo ein Gletscherzufluss vermöge seiner Mächtigkeit und Richtung einen andern Gletscher und seine Moraine überwältigt, — ein Fall, den z. B. Forbes⁶⁵ an der Vereinigung der Gletscher du Géant und Léchaud beobachtete, — sieht man wirklich nicht ein, wie überhaupt grössere Trümmer in das Innere der zusammenhängenden Gletschermasse eindringen sollten.

Die Gletscheralluvionen. — Ausser den Morainen verdankt eine andere Art von Trümmerbildung, mittelbar wenigstens, dem Gletscher seine Entstehung, die Gletscheralluvionen (*Alluvions glaciaires*), auf welche vorzüglich Charpentier⁶⁶ aufmerksam gemacht hat. Es sind vom Wasser zusammengetriebene, daher kenntlich geschichtete Schuttmassen, aus Steinen, Grien und Sand, welche in den vom Gletscher veranlassten Wasseransammlungen liegen blieben. Von gewöhnlichen Flussalluvionen unterscheiden sie sich durch eine grosse Unbeständigkeit und Unregelmässigkeit der Schichtung, abhängig von der Veränderlichkeit der Gletscherwasser, durch eine von der Nähe des Stammortes herrührende unvollkommene Abrundung der Gerölle, durch die Vermischung gerundeter, wohl auch gestreifter Steine mit eckigen Trümmern, die vom Gletscher herkommen, endlich durch ihre Nähe an wahren, ganz ungeschichteten Morainen. Bei den meisten Gletschern haben diese Alluvionen nur geringe Bedeutung und füllen den Eingang der unvergletscherten Seitenschluchten aus; je grösser die vom

⁶⁵ Forbes, Travels, p. 84, 168.

⁶⁶ Charpentier, Essai, p. 62.

Gletscher abgesperrten Thäler und dadurch gebildeten Wasseransammlungen sind, desto grössere Ausdehnung gewinnen sie, freilich auf Unkosten ihrer eigenthümlichen Merkmale.

Die Felsen des Gletscherbettes. — Wie der Gletscher die Trümmer zerarbeitet, die neben und unter ihn gelangen, so natürlich zugleich das Felsenbett, in dem er seine ungeheure Eislast fortbewegt und zwar wie dort auf eine ganz eigenthümliche Weise.⁶⁷ Dringt man an der oft vorhandenen Rand- oder Endkluft, wie es wiederholt (z. B. am Rosenlauri⁶⁸, am Viesch⁶⁹, am Gornergletscher⁷⁰ u. s. f.) geschehen ist, zu Stellen vor, wo das Eis unmittelbar auf dem festen Felsen ruht, so erscheint letzterer beständig von einem dünnen Schlammüberzuge bedeckt, der wegge- waschen eine mehr oder weniger glatte, zugleich aber gestreifte Fläche erkennen lässt. An grob- und ungleichkörnigen Felsarten ist die Politur unvollkommen, die Streifen sind roh und ungleich, an feinkörnigen homogenen Gesteinen dagegen steigt jene wohl bis zur Spiegung, und die Linien haben eine Feinheit und Schärfe, als wären sie mit einem Diamanten geschnitten. Die Ursache dieser Verarbeitung findet sich unmittelbar in den härtern Körnern, welche die Schlamm- schicht enthält, und in den Steinstückchen und Geröllen, die man zahlreich an der untern Eisfläche eingebettet findet. Gewaltsam festgehalten und unter furchtbarem Drucke fort- geschoben, ziehen diese fremden Körper Furchen und Linien,

⁶⁷ Venetz und Charpentier scheinen zuerst auf diese Eigenthümlichkeiten aufmerksam geworden zu sein. (Charpentier, Ann. des Mines, VIII, Essai, p. 42.)

⁶⁸ Agassiz, Etudes, p. 189; Système, p. 575.

⁶⁹ Escher v. d. Linth, Pogg. Ann. LVI, p. 611.

⁷⁰ Desor, Bibl. univ., Mai 1840, p. 27.

die man oft mehrere Fusse verfolgen kann. Agassiz⁷¹ sah am Rosenlaugletscher eine Furche gleich hinter einem angepressten Rollsteine beginnen, Forbes⁷² fand in den feinen Ritzen Bruchstücke der ritzenden Körner eingeklemmt. Im Ganzen folgen die Streifen dem Thalabfall, weichen aber auch bisweilen je nach der Richtung, welche das Eis unter dem Einflusse der Lokalität einschlagen musste, von derselben bedeutend ab. Am Brenva-⁷³ und Allaleingletscher beobachtete Forbes, wo das Eis an Felsen emporgedrängt wurde, vertikal ansteigende Streifen. Martin⁷⁴ führt sogar Beispiele an, wo überhängende Felsen auf ihrer Unterseite eine Streifung aufwiesen. Auch herrscht kein vollkommener Parallelismus der verschiedenen Streifen, sei es, dass in Folge der relativen Bewegungen des Eises frühere und spätere Körnchen nicht derselben Richtung folgten, sei es, dass vorstehende Hindernisse durch eine Kräftezerlegung die Bewegung ablenkten.

Fernere Spuren der Gletscherwirkung. —

Wer mit Aufmerksamkeit den Gletscherschliff je betrachtet hat, kann ihn unmöglich mit der Wasserabnutzung verwechseln, welche nie eine wahre Politur, geschweige eine wirkliche Streifung, sondern stets nur, wie bei der Bildung der Rollsteine, eine Abgleichung aus zahllosen Abstossungen zu Stande bringt. Freilich bleiben die Merkmale der Gletscherarbeit nicht immer gleich deutlich. Die zahllosen Wasseradern und Bäche, welche unter dem Gletscher Sand und Gerölle treiben, die durch Spalten und Mühlen herabstürzenden Wasser, das beständige Verweilen der Nässe auf etwas auflöslichem

⁷¹ Agassiz, Système, p. 578

⁷² Forbes, Trav., p. 203.

⁷³ Forbes, Trav., p. 203 u. 252.

⁷⁴ Martin, Edinb. n. phil. J. L. 1851, p. 312.

Gestein, löschen dieselben, namentlich auf dem Grunde des Bettes, oft vollständig aus, doch selten so allgemein, um nicht da und dort wiedergefunden zu werden. Es kommen dann noch andere Merkmale der Erkennung zu Hülfe: eine grossartige bauchige Abrundung namentlich der kristallinischen Felsarten⁷⁵ (*Roches moutonnées* von Agassiz), eine auf weite Flächen ausgedehnte Ebnung und Politur⁷⁶ (*Roches polies*), eine stärkere Abnutzung vorstehender Klippen auf der Stossseite des Eises, im Vergleich mit der besser geschützten Rückseite u. s. f. Selbst die Riesentöpfe⁷⁷, kesselartige Vertiefungen, die das herabstürzende Wasser mittelst der mitgeführten Steine aushölt, und die Karren⁷⁸ (*Lapiaz*), Rinnen und Kehlen, welche herabtropfendes und rieselndes Wasser in gewisse Kalksteine eingräbt⁷⁹, können je nach ihrer Stellung ebenfalls als Andeutungen eines früheren Daseins von Gletschern dienen, obgleich sie im Grunde keine Wirkung des Eises sind und daher auch unabhängig von demselben entstehen mögen.

Organismen der Schneeregion. — Um die Reihe der auf dem Gletscher vorkommenden fremden Körper zu beschliessen, mag mit einem Worte auch der organischen Gebilde Erwähnung geschehen, die auf demselben ihre Heimat finden. Es ist eine längst bekannte Thatsache, dass niedere vegetabilische Organismen noch bei sehr niedern Jahrestemperaturen gedeihen können. Bis auf die höchsten Gipfel hinauf, wo nur immer der feste Fels aus dem Schnee hervorbricht, entdeckt man einzelne mit Li-

⁷⁵ Agassiz, Syst. p. 585.

⁷⁶ Agassiz, Syst. p. 586.

⁷⁷ Agassiz, Etudes, p. 199.

⁷⁸ Agassiz, Etudes, p. 197. — Syst. p. 582. — Charpentier, Essai. § 35, p. 101. § 57, p. 169.

⁷⁹ F. Keller. Ueber die Karren oder Schratten. Zürich 1840.

chenen übersäete oder überzogene Stellen. Schon Saussure⁸⁰ erwähnt dessen bei seiner Besteigung des Montblanc, Zumstein⁸¹ bei derjenigen des Monte-Rosa, also von Höhen, die nicht weniger als 4600 und 4800 Met. betragen. Später trafen Agassiz und Desor⁸² mit Lichenenkrusten bekleidete Felsen bis auf die höchsten Kuppen des Schreckhorns und der Jungfrau.⁸³ Die vollständigste Zusammenstellung dieser Organismen der höchsten Schneeregion findet man bei Schlaginweit⁸⁴; er zählt nicht weniger als 40—45 Arten auf, die von ihm und Andern auf neun zwischen 3200 und 4800 Met. liegenden Punkten gesammelt wurden und 19 Gattungen angehören. Diesen Organismen kommt eine solche Zähigkeit und langsame Thätigkeit zu, dass die warmen Sommertage genügen, um unter Verhältnissen, wo allerdings die chemischen Zersetzungen beinahe stocken, das organische Leben, der langen Erstarrung ungeachtet, wach zu erhalten.

Der rothe Schnee. — Noch entschiedener an die Eistemperatur gebunden sind jene kleinen Organismen, die zumal im Juli und August oft auf bedeutende Strecken hin den ältern Schnee und Firn roth überziehen und als rother Schnee bekannt sind. Es ist nicht ohne Interesse, die nämlichen Organismen, welche Capt. Ross von den Schneefeldern der Polarländer zurückbrachte, auf den Firn-

⁸⁰ Saussure Voy. IV. § 2018, p. 206. — Schärer erkannte an den Saussure'schen Stücken *Lecidea confluens* Ach. ad *Parmelia polytropa* Sch. Linnæa 1842. XVI. p. 66.

⁸¹ Zumstein, Welden d. Mte. Rosa p. 136.

⁸² Desor, Ascens. du Schreckh. Revue Suisse 1843 p. 18. — Ascension de la Jungfrau, Bibl. univ. 1841. Nov. p. 44.

⁸³ Auf dem Schreckhorn nach Schärer: *Parmelia elegans* Ach. id. *muralis* Sch. — Auf der Jungfrau *Lecidea conglomerata* Ach. *confluens* Ach. *Parmelia elegans* Sch., *Umbilicaria atro-purpurea*, id. *Virginis* Sch.

⁸⁴ Schlaginweit, Untersuch., p. 593.

feldern der Alpen wieder zu finden, wo sie, wenn auch unrichtig gedeutet, längst schon die Aufmerksamkeit der Alpenreisenden auf sich gezogen hatten.⁸⁵ Je höher desto später tritt das Rothwerden des Schnee's ein, bis die Erscheinung in 2800 Met., wenig über der Schneelinie⁸⁶, ihre Gränze erreicht. Die Färbung beginnt mit rosenrothen Flecken und erfüllt, näher betrachtet, die Zwischenräume zwischen den Firnkörnern⁸⁷ bisweilen auf mehrere Zoll Tiefe. Bei Ausbildung der Flecken steigt die Färbung zum Karminrothen, bis endlich der Stoff derselben im September zu einem schwarzen Moder zerfällt. Die mikroskopischen Untersuchungen von Shuttleworth⁸⁸ und Vogt⁸⁹ haben verschiedenartige sowohl mit Bewegung begabte als bewegungslose Körperchen entdecken lassen. Die ersten wurden als animalische Gebilde, als Infusorien, die letzten als vegetabilische, als *Protococcus*arten gedeutet und eine nicht geringe Zahl von Namen dafür aufgestellt⁹⁰; nach den neuern Kenntnissen über diese niedern Organismen scheinen mehrere derselben nur verschiedene Entwicklungsstufen des weitverbreiteten *Protococcus nivalis* Ag. zu sein, dessen Sporen zeitweise eine Schwärmbewegung annehmen.⁹¹

⁸⁵ Saussure hielt sie für eine pollenartige Substanz. Voy. II. § 646. p. 45. — IV. § 2016. p. 205.

⁸⁶ Saussure ebenda.

⁸⁷ Hugi glaubte in der Ausbreitung des Farbstoffes Stämmchen und Würzelchen einer Pflanze zu erkennen. Alpenr. p. 373.

⁸⁸ R. Shuttleworth, Nouv. observ. sur la matière colorante de la neige rouge. Bibl. univ. 1840. p. 383.

⁸⁹ Vogt, Notice sur les animalcules de la neige rouge. Bibl. univ. 1841. p. 377.

⁹⁰ Von Infusorien werden genannt: *Astasia nivalis* Shttl., *Gyges sanguineus* Shttl., *Gandorina hyalina* Ehrb., *Monas gliscens* Ehrb.; von vegetabilischen Organismen: *Protoconus nivalis* Ag. und *nebulosus* Kütz.

⁹¹ Kolenati, Bull. de la soc. de St. Petersburg. V. 1847. No. 5. p. 49.

Gletscherthierchen. — Neben diesen niedern Pflanzen dient der Gletscher auch einigen höher organisirten Thieren zum Aufenthalt. Am häufigsten findet sich neben den rothen Körnern ein kleines Räderthierchen⁹², das mit dem Wasser der Haarspalten oft viele Zolle in das Eis eindringt. Es hat einen länglichen, runzlichen Leib, der vorn mit einem rüsselförmigen Kopftheile, an dem sich zwei Wimperrädchen befinden, versehen ist und hinten mit einem gegliederten Schwanz ausgeht. Vogt bestimmt dasselbe als *Philodina roseola* Ehr. und betrachtet, wohl irrtümlich, manche rothen Körner als Eier desselben. — Noch merkwürdiger aber ist das Auftreten eines eigentlichen Insektes. Wiewohl dem Bergbewohner unter dem Namen Gletscherfloh längst bekannt, scheint diese kleine Podurellenart erst im Jahr 1839 von Desor⁹³ auf dem Weissthorgletscher für die Wissenschaft entdeckt und bald darauf von Nicolet⁹⁴ unter dem Namen *Desoria glacialis* genau beschrieben worden zu sein. Es ist ein kleines, schwarzes, langgestrecktes Thierchen mit 6 Füßen, zwei gegliederten Fühlern, dickem Kopfe und einem sechsheiligen Leibe, der mit zwei Borsten endet. Es findet sich in ungeheurer Menge unter Steinen auf dem Eise, bei deren Wegheben es mit hüpfender Bewegung nach allen Seiten entweicht. Nach Collomb⁹⁵ stirbt es im destillirten Wasser, nährt sich also von der geringen Menge organischen Stoffes, die sich auf dem Gletscher und im Schmelzwasser findet. Wie der im Norden auf dem Schnee

⁹² Vogt, Desor Excursions 2. Art. Bibl. univ. Avril. 1841. p. 84, wo auch eine Abbildung gegeben wird.

⁹³ Agassiz, Etudes, p. 53.

⁹⁴ Nicolet, Denkschr. der schw. Ges. VI. 1841. p. 58. — Bibl. univ. Avril. 1841. p. 87.

⁹⁵ Ed. Collomb, Compte rendu T. XXIV, p. 1093.

beobachtete *Boreus hyemalis*⁹⁶ lebt *Desoria glacialis* bei Temperaturen, die in der Nacht wenigstens den Eispunkt kaum übersteigen und bei welchen die Lebensthätigkeit der übrigen Insektenwelt vollständig erstirbt.

⁹⁶ Kolenati betrachtet beide Thierchen, entgegen der Annahme der meisten Naturforscher, als ein und dieselbe Insektenart. Bull. de l'Acad. de St. Petersb. V. 1847. Nr. 4. p. 49.

VI. Die Zerklüftung des Gletschers.

Vorwort. — Wie die Felszertrümmerung ist die Zerklüftung eine Nebenerscheinung, welche nicht eigentlich zum Wesen des Gletschers gehört, aber unter den gewöhnlichen Verhältnissen ihn treu begleitet. Nach ihren Beziehungen zum Gletscher stehen beide Erscheinungen gewissermaassen im Gegensatz. Während die Morainen ein Phänomen der Begränzung sind, während ihre Trümmer die Gletschermasse vermehren, ihr Schutt dem Eise zur schützenden Decke dient und durch Ursachen auf den Gletscher gebracht wird, die ausser ihm liegen: — gehören umgekehrt die Spalten dem innern Gletscher an, stellen einen Mangel an Masse dar, öffnen sein Inneres den zerstörenden Einflüssen, entstehen endlich aus dem Spiele innerer Spannungen. Allerdings besitzt der Gletscher als Ganzes die Fähigkeit, sich allmählig umzuformen, doch nur unter dem Einfluss langsam und anhaltend wirkender Ursachen; gegen rasch und gewaltsam wirkende Kräfte verhält er sich als eine feste, starre Masse, pflanzt ohne Gestaltänderung Druck und Erschütterungen fort und zerreisst unter starker Spannung nach einer zu dieser Spannung senkrechten Richtung.

Der Bergschrund. — In der Region des Hochschnee's zeigen sich selten offene Trennungen der Schneemasse, denn es fehlen die grossen Anhäufungen, es fehlt der Zusammenhang der Theile, es fehlt die massenhafte Bewegung. Sowie man aber unter 3500 Meter nach dem Firn hinabsteigt, stösst man am Fusse der Felsen auf eine Kluft, welche dem obern Umriss der Schnee-

halden folgt und die natürliche Ablösung des nach unten sich setzenden Schnee's ist. Eine solche Kluft bildet sich am Anfang einer jeden auf steilem Abhange ruhenden alten Schneemasse, nach Ed. Collomb¹ z. B. an den kleinen vorübergehenden Gletschern der Vogesen. Die Alpenbewohner nennen sie Bergschrund² (*Rimayes*).³ Wiewohl selten tiefer als 5—10 Met. stellt diese Kluft dennoch, wegen ihrer weiten Erstreckung, der Steilheit der Felsen welche die eine Wand derselben bilden, und wegen des aufstehenden Randes der andern Wand, grosse Schwierigkeiten für den Uebergang⁴ dar.

Die Randkluft der Firnmulden. — Eine andere ziemlich beständige Kluft beobachtet man am Umkreise der grossen Firnmulden, in einer Höhe von 3000 — 3500 Met. Wo die Felsen tiefer herabsteigen, vereinigt sie sich mit dem Bergschrund, wo Schneehalden den Abhang bilden, zieht sie sich als eine fortsetzende, oft streckenweise unterbrochene Reihe von Vertiefungen, von Desor *Caveaux* genannt⁵, am Fusse derselben hin. Agassiz setzt ihre grössten Dimensionen auf 300 Met. Länge, 20 Met. Breite und 80 Met. Tiefe. Bei dem noch nicht grossen Zusammenhange und der unvollständigen Verschmelzung der Firnkörner haben die Wände und Ränder dieser Kluft auf die Dauer keine regelmässige Gestalt; der direkte Einfluss der Sonnenstrahlen auf die lockere Masse, die in der Region

¹ Ed. Collomb, Edinb. n. phil. Journ. T. XLII. 1847. p. 232.

² Agassiz, Syst. p. 328. — Schlaginweit. Unters., p. 95.

³ Desor nannte den Bergschrund früher la grande crevasse (Ascension de la Jungfrau. Bibl. univ. 1841. T. XXXVI. p. 138), später Rimayes (Excursion 1844. p. 333.)

⁴ Man lese z. B. den Uebergang des Bergschrundes am Zmuttgletscher bei Forbes Trav. p. 305.

⁵ Agassiz, Syst., p. 325.

häufig wiederkehrenden Schneefälle und Windwehen runden die Vorsprünge ab und überbauen sie perückenartig mit neuem Schnee. Oft bleiben nur einzelne Oeffnungen sichtbar, durch welche man mit Lebensgefahr in die von grünlichem Azur zauberisch strahlende Tiefe schaut.⁶ Offenbar entsteht die Firnkluft, die oft z. B. am Breithorn- und Trientfirn⁷ in grosser Vollständigkeit sich zeigt, bisweilen auch stufenartig sich wiederholt, durch die sinkende und fortschreitende Bewegung der Firnanhäufung; sie trennt den Schnee, der als eine dünne Bedeckung des Gebirges zu betrachten ist und in vereinzelter Partien von Wind und Schwere herabgeführt wird, von dem massenhaft zusammenhängenden und bewegten Firn, bezeichnet also den obersten Anfang des Gletscherkörpers. Aus der Fortbewegung der ganzen Masse, in Verbindung mit der steten Erneuerung und dem Wachsen der obern Schneelagen erklärt sich vermuthlich die von Hugi⁸ zuerst bemerkte Eigenthümlichkeit der Firnklüfte, in der Tiefe meist weiter zu sein als oben, sich oft zu vollständigen Hölen oberflächlich zu schliessen.

Andere Firnklüfte. — Ausserdem zeichnen sich die Firnmulden durch ihre Armuth an Klüften aus⁹; man kann stundenlang auf denselben fortwandern, ohne an den gerundeten Erhebungen und Senkungen, dem oberflächlichen Ausdrücke der in der Tiefe befindlichen Ungleichheiten des Grundes, Zerreissungen zu entdecken. Die Verschiebbarkeit, Zusammendrückbarkeit und leichte Durchtränkung der Firnmasse verleihen ihr die Fähigkeit, sich ohne Spalten

⁶ Desor, Excurs. p. 66. — Ascens. de la Jungfrau. Bibl. univ. Nov. 1841. p. 11.

⁷ Charpentier, Essai. p. 81.

⁸ Hugi, Alpenreise p. 356. — Agassiz Système p. 325.

⁹ Agassiz, Syst., p. 314. — Schlaginweit, Unters., p. 37.

an das unregelmässige Thalbett anzuschmiegen und darin fortzubewegen. Wo durch zu starke Klippen des Grundes Trennungen entstehen, haben sie nicht sowohl das Ansehen gerade fortsetzender enger Spalten, als unregelmässig begränzter tiefer Brüche oder einer durch zahlreiche Klüfte veranlassten allgemeinen Auflockerung. Auf eine solche Kluft von 33 Met. Tiefe stiess Saussure¹⁰ bei seiner Besteigung des Montblanc.

Die Randkluft des Gletschers. — Eine weit grössere Bedeutung gewinnt die Zerklüftung auf dem eigentlichen Gletscher und besteht theils in der schon früher genannten Randkluft, durch welche Morainentheile unter den Gletscher gelangen, theils in wahren, die Eismasse durchsetzenden Spalten. Die Randkluft hat eine grosse Aehnlichkeit mit dem Bergschrunde oder der Firnkluft und wird oft mit ihr verwechselt, allein sie entwickelt sich vorzugsweise an dem untern Theile des Gletschers, während der Bergschrund und die Firnkluft den Anfang des Firnes bezeichnen. Ferner bildet sie sich nicht an steilen Felsen nur, sondern ebenso an sanften Berghängen, da dann der Gletscherrand als eine mächtige Eisscherbe, unter welcher durch man unter den Gletscher kriechen kann, frei heraussteht. Endlich verdankt sie ihre Entstehung nicht sowohl einer Ablösung durch die Bewegung der Eismasse, wie man sie allerdings hinter Vorsprüngen des Ufers beobachtet¹¹, als der am Rande besonders wirksamen Zerstörung und Abschmelzung des Eises. Damit steht in Verbindung, dass die Randkluft im Laufe jedes Sommers sich neu bildet, nachdem Herbst und Winter sie wieder mit Trümmern und gefrorenem Schnee gefüllt und geschlossen haben.

Das Spaltenwerfen. — Die wirklichen Spalten

¹⁰ Saussure, Voyage IV. § 1978, p. 160.

¹¹ Forbes, Travels, p. 76.

sind eigentliche Risse, durch zu starke Spannung der Eismasse entstanden. Hugi zuerst¹², später auch Agassiz¹³ haben das Spaltenwerfen des Gletschers unmittelbar verfolgt. Es kündigt sich durch ein theils krachendes, theils klingendes Getöse an; das Eis erbebt und es zeigt sich ein Sprung, den man unter dem Auge bald mühsam fort-rücken, bald sprungweise forteilen sieht; oft klafft er augenblicklich um mehrere Centimeter auseinander, oft bedarf es dazu mehrerer Tage, oft erweitert und verengt er sich abwechselnd.¹⁴ Meist laufen die Spalten mit im Grossen geraden Rändern und ebenen Wänden nach der Seite und Tiefe gleichförmig fort; nur selten haben sie einen zackigen Verlauf oder schlagen auf kurze Strecken die abweichende Richtung älterer Spalten ein.¹⁵ Gewöhnlich auch entstehen unter dem Einfluss derselben Ursache mehrere parallele Risse hinter einander, wie z. B. Agassiz¹⁶ in $7\frac{1}{2}$ Stunden auf einer Strecke von 125 Schritten acht sich öffnen sah. Sehr häufig beginnt am Ende einer Spalte, oft auch etwas seitwärts, durch eine dünne Zwischenwand oder Brücke getrennt, eine zweite in gleicher Richtung, dann eine dritte u. s. f., zuletzt eine ganze Kette¹⁷, wie man es wohl an aufspringendem Holze wahrnimmt. Alles diess stimmt mehr mit dem überein, was man von einem ziemlich elastischen und spröden Körper, als von einer ductilen oder erdigbrüchigen Masse erwarten darf. Eine Glassprödigkeit, wie das Wassereis in der Kälte nament-

¹² Hugi, Alpenreisen, p. 354.

¹³ Agassiz, Comptes rendus 1842. XV. p. 443. — Système p. 313. — Desor, Comptes rendus, p. 47.

¹⁴ Hugi, Alpenr., p. 355.

¹⁵ Agassiz, Syst., p. 331.

¹⁶ Agassiz, Syst., p. 311.

¹⁷ Der Ausdruck, den die Oberwalliser gebrauchen. Escher's Mittheilungen.

lich sie aufweist, darf man immerhin dem von Haarspalten durchwobenen und von Wasser durchdrungenen, in seiner Temperatur auf 0^0 stehenden Gletscher nicht zuschreiben.

Die vom Gletscherbette herrührenden Spalten. — Die grosse Mehrzahl der Spalten hat ihren Grund in Hindernissen des Gletscherbettes. Das an vortretenden Stellen vorübergehende Eis strebt, von dem Falle oder der Erweiterung des Bettes begünstigt, eine grössere Geschwindigkeit anzunehmen, während das oberhalb befindliche gehemmte sie nicht theilt; der Gletscher wird da aufklaffen, wo die grösste Spannung oder die grösste Differenz der Bewegung entsteht¹⁸, d. h. vor und gegenüber dem Hindernisse, wogegen die Klüfte wieder verschwinden, wenn der normale Zustand des Eisstromes wieder beginnt.¹⁹ Ueberblickt man aus einer gewissen Höhe den Lauf des Gletschers, so springt die nahe Beziehung der Zerklüftung zu den Unregelmässigkeiten des Thales sofort in die Augen.²⁰ Wie der fliessende Bach stets an den gleichen Stellen Wellen und Blasen wirft, so erscheint die Oberfläche des Gletschers stets an den gleichen Stufen und Biegungen des Thales von Rissen durchschnitten; doch sind es immer neue Risse, welche an denselben Stellen in der bewegten Masse vorübergehend entstehen und folgeweise alle Querstücke des langsam vorbeifliessenden Eisstromes ergreifen. — Die frühere Meinung²¹, dass Dilatationen und Contractionen, durch Wärme und Kälte hervorgebracht, die Ursache nicht bloss der oberflächlichen Haarspalten, sondern auch der grössern Risse seien, lässt sich nicht mehr vertheidigen, seitdem der

¹⁸ Guyot, Bull. de la Soc. de Neuchâtel, 1844. p. 254.

¹⁹ Agassiz, Syst., p. 334.

²⁰ Namentlich hat Forbes auf diese Uebereinstimmung Nachdruck gelegt, p. 78.

²¹ Hugi, Alpenr., p. 354. — Agassiz, Etudes, p. 83. Syst. 313,

geringe Betrag und die geringe Tiefe solcher Veränderungen im Innern des Gletschers erwiesen ist. Auch müsste je die entgegengesetzte Ursache die Spalte an der Stelle, wo sie entstanden ist, wieder schliessen, während diess immer erst an spätern Stellen der Fall ist. Allerdings sind die warmen Monate und Tage der Spaltenbildung besonders günstig²², aber nicht direkt um der höhern Temperatur willen, sondern wegen der vermehrten Durchtränkung des Gletschers und der grössern Beweglichkeit, welche derselbe dadurch gewinnt. Ob auf Gletschern, die auch im Winter fortrücken, zu dieser Zeit Spalten entstehen, ist nicht ermittelt. Hingegen glaubt Agassiz²³, zweimal durch Bohrarbeiten die Entstehung von Spalten in der gespannten Eismasse bestimmt zu haben.

Die Querspalten. — Die Querspalten (*Crevasses medianes*)²⁴, durch Querstufen und Querdämme des Grundes veranlasst, setzen nach der Breite über den Gletscher und fehlen bei gleichmässig abfallenden, selbst steilen Gletschern zweiter Ordnung oft ganz. Höchst selten reichen sie von der einen zur andern Seite des Gletschers, denn die 160 Met. weite Kluft, welche Forbes²⁵ auf dem Géant-Gletscher traf, kann kaum als Spalte betrachtet werden. Auf zusammengesetzten Gletschern, wohin die meisten grossen Gletscher gehören, überspannen sie meist nur einzelne Zuflüsse²⁶, was nicht sowohl einem Hinderniss der Morainen²⁷ — Agassiz²⁸ sah die Riesenmoraine des Aar-

²² Hugi, Alpenr., p. 355. — Agassiz, Syst., p. 314.

²³ Agassiz, Syst., p. 313.

²⁴ Agassiz, Syst., p. 309.

²⁵ Forbes, Trav., p. 238.

²⁶ Agassiz, Système, p. 309.

²⁷ Hugi glaubte sogar, dass einzelne Steinblöcke die Spalte ablenken, was aber vielfach widerlegt worden ist. Alpenr. p. 359.

²⁸ Agassiz, Syst., p. 312, 313.

gletschers von mehreren Spalten durchsetzt — als der später erläuterten individuellen Bewegung der einzelnen Abtheilungen des Gletschers beizumessen ist. Die Querspalten haben in der Regel eine oben erweiterte, keilförmige Gestalt und scheinen nach unten wie nach den Seiten auszufließen. Wenn man nur wenige mit Wasser gefüllt sieht, so liegt der Grund theils in der allgemeinen Filtration, vermöge welcher die Spaltwände das Wasser aufsaugen und weiter leiten, theils an unregelmässigen Kanälen, durch welche dasselbe massenhaft abfließt. Hugi²⁹ will mit einer Spalte von 30 Met. auf dem Aargletscher den Grund erreicht haben; Sondirungen, von Agassiz³⁰ bis auf 260 Met. Tiefe ausgeführt, haben das Eis nicht durchdrungen. Jene keilförmige Gestalt scheint übrigens eine unmittelbare Folge der Entstehung der Risse durch Verschiebung des Eises über eine Convexität zu sein, wobei die äussern Theile eine Spannung und Zerreissung, die tiefern untern eine Compression erleiden werden. Nach dem gleichen Grundsatz müsste umgekehrt bei der Fortbewegung des Gletschers über grosse Vertiefungen des Grundes oder beim Uebergang aus einem stärkern in ein viel schwächeres Gefälle eine Zerreissung an der untern Fläche des Gletschers eintreten. Einzig Hugi³¹ will unter dem Vieschgletscher eine solche, 7 Met. nach oben fortsetzende Grundspalte beobachtet haben; allein die Unklarheit seiner Erklärung³², so wie die Schwierigkeit aller Beobachtungen unter dem Gletscher haben diese einfache Folgerung der Theorie aller spätern Prüfung entrückt.

²⁹ Hugi, Alpenreise, p. 337.

³⁰ Agassiz, Système, p. 333.

³¹ Hugi, Alpenreise, p. 356.

³² Hugi betrachtet die oberflächlichen als Tag- und Sommerpalten, die von unten ausgehenden als Nacht- und Winterpalten, ohne den Beweis dafür beizubringen.

Gletscherbrüche. — Bei stärkern Thalstufen werden die Querspalten zahlreicher und mächtiger. Rendu³³ führt an, dass der steile Gletscher im Thal der Maurienne, aus welchem die Aare entspringt, von Klüften durchschnitten wird, durch welche man den Grund erblickt, — was offenbar neben der Biegung des Eises ein partielles Gleiten voraussetzt. Bei grossen Gletschern ist aber die Trennung selten so vollständig. Durch zahlreiche Querschnitte³⁴ zertheilt sich die Eismasse in riesenmässige verticale Scheiben und Splitter, die, unten in Berührung, oben weit getrennt, sich hinter einander drängen und, über ungleiche Felsklippen hinabgeschoben, bald in Blöcken und Trümmern übereinander stürzen, bald wie Ruinen als Mauern und Thürme emporstarren. Die atmosphärischen Agentien, Sonne, Regen, Winde, Wärme und Kälte, arbeiten und nagen an den chaotischen Massen, bis daraus jenes auffallende Labyrinth von Kämmen, Pyramiden und Nadeln hervorgeht, welches von jeher die Bewunderung der Reisenden auf sich gezogen hat. Solche Gletscherbrüche kommen auf sehr vielen Gletschern vor: am Rhonegletscher über seiner Ausbreitung³⁵, am Desbois- und Talèfregletscher³⁶, am Zermattgletscher unter dem Riffel³⁷, am Grindelwald³⁸, am Pasterzengletscher.³⁹ So gross die Verwirrung der Eismassen auf den Gletscherbrüchen erscheint, vermischen sich dabei doch mehr auf einander folgende als neben einander liegende Theile, und man sieht die Gufferlinien oft als dunkle

³³ Rendu, Mémoires de la soc. de Savoie X. p. 88.

³⁴ Crevasses d'escarpement v. Agassiz, Syst. p. 315.

³⁵ Saussure, Voy. III. § 1718. p. 481.

³⁶ Forbes, Trav., p. 62.

³⁷ Agassiz, Syst., p. 316.

³⁸ Agassiz, Etudes, p. 90.

³⁹ Schlaginweit, Unters., p. 63.

Streifen über den Bruch hinabsteigen und sich unten wieder zu vollständigen Morainen gestalten.⁴⁰ Ueberhaupt gleicht sich die Eismasse unterhalb der Stufe, sei es durch Abtragung der Gipfel und Ausfüllung der Thäler mit zerfallenden Körnern, sei es durch Compression, Durchfeuchtung und Verwachsung der beweglichen Theile, mit wunderbarer Schnelligkeit wieder aus, so dass wenige hundert Meter weiter der Gletscher mit seiner ursprünglichen Normalgestalt seinen Lauf fortsetzt.

Randspalten. — Die Randspalten (*Crevasses marginales*)⁴¹ verdanken ihre Entstehung den vorspringenden Ecken des Ufers, um welche der Gletscher sich zu drängen und zu wenden gezwungen wird. So sieht man es auf dem Aargletscher an den Vorsprüngen des Miselen, des Escherhorn und Rothhorn⁴², auf der Mer-de-Glace an den Felsen des Angle und von Trèlaporte.⁴³ Meist entstehen die Randspalten in grosser Zahl und laufen von der Felsecke aus, wo ihre Breite am grössten ist, unter 30 — 40° schief aufwärts gegen den Rücken des Gletschers. Auf dieser Richtung findet sich die grösste Spannung zwischen dem gehemmten und dem abfliessenden Eise. Ihrer Weite ungeachtet, die 5 bis 8 Met. erreichen kann, bleiben sie eine Erscheinung der Seiten des Gletschers und reichen selten bis zur Mitte desselben. Da die einmal entstandenen Risse längere Zeit fortbestehen und mit dem Eisstrom, langsamer am Rande, schneller nach der Mitte, sich fortbewegen, so ordnen sie sich um die Felsecke, als Mittelpunkt, zu einem fächerförmigen System, und, erst aufwärts gerichtet, nehmen sie zuletzt eine niederwärtsgehende Richtung an, ohne desshalb

⁴⁰ So am Taléfgletscher. Forbes, Trav., p. 69.

⁴¹ Agassiz, Syst., p. 304. — Schlaginweit, Unters., p. 96.

⁴² Agassiz, Syst., p. 305.

⁴³ Forbes, Trav., p. 77, 80.

zu wahren Längenspalten zu werden.⁴⁴ Wo zahlreiche Randspalten mit Querspalten sich verstricken, wird der Gletscher ganz unwegsam und die Eisflächen laufen dann wohl in schmale Mauern und Schneiden aus.

Die Schliessung der Spalten. — Es ist aber merkwürdig, wie unterhalb solcher zerschnittenen Gegenden der Gletscher sich sofort wieder schliesst und ebnet. Verschiedene Ursachen tragen hiezu bei. Vorerst arbeiten die atmosphärischen Agentien an der Ausgleichung der Masse, erweitern den obern Theil der Risse, namentlich auf der von der Sonne beschienenen Seite und füllen die Tiefen mit verwachsenden Stücken aus, so dass man am Ende des Sommers das früher scharf zerhackte Eisfeld kaum mehr erkennt. Zweitens wirkt in dem Eise, unterhalb des Hindernisses, statt einer Spannung, ein Druck, indem die obern Theile gegen die untern langsamer bewegten angedrängt werden⁴⁵; doch bleibt die Richtung der so geschlossenen Spalten meist an einer Linie von Sand und Staub, welche an den Spaltwänden hängen, kenntlich.⁴⁶ Endlich füllen sich manche Spalten mit Schnee und Wasser, durch deren Gefrieren einzelne fortsetzende Bänder weissen porösen Eises zwischen dem dichteren Gletschereis entstehen.⁴⁷ Solche Spuren älterer Risse sieht man dann bisweilen von neugebildeten Spalten schief durchsetzt.

Längenspalten. — Wiewohl die meisten Risse des Gletschers mit Hindernissen der Bewegung in Verbindung stehen, findet diese Erklärung doch keine Anwendung auf die seltenen, dann aber oft sehr langen und engen Län-

⁴⁴ Charp., Essai, p. 80. — Desor, Course au Mte. Rose. Bibl. univ. 1840. Mai. p. 55.

⁴⁵ Agassiz, Syst., p. 341.

⁴⁶ Agassiz, Syst., p. 338.

⁴⁷ Hugi, Alpenr., p. 336.

genspalten (*Crevasses longitudinales*)⁴⁸. Andere Gründe für die Erzeugung einer Spannung in transversalem Sinne, wie sie hier vorausgesetzt wird, lassen sich nicht angeben, als das Dasein verborgener Längsklippen⁴⁹ oder eine Erweiterung des Thales und das Bestreben des Gletschers sich auszubreiten, wobei die convexe Masse sich zu einer flachern Gestalt ausbreitet⁵⁰. Eine gewichtige Unterstützung erhält diese Ansicht durch die radialgerichteten Risse, welche so häufig am Ende des Gletschers, wo derselbe kuchenartig sich auszubreiten strebt, entstehen. Der Rhone-⁵¹, der Rosenlaur-, der Arola- und viele andere, auch secundäre Gletscher zeigen diese Erscheinung. Zum Schliessen der Längenspalten wäre eine anhaltende Verengung des Thales erforderlich, die nach unten meist fehlt, und daraus erklärt sich die ungewöhnliche Länge derselben. Die unteren Radialklüfte, von Sonne und Regen erweitert, sind einer wahren Schliessung vollends entzogen und erneuern sich wohl mehrere Jahre hindurch an der gleichen Stelle durch Zerstörung der lockern winterlichen Ausfüllungsmasse.

Mühlen und Löcher. — Ausser den eigentlichen Spalten, der einzigen Trennungsweise einer starren Masse, trifft man auf dem Gletscher einzelne kaminartige Löcher, die mit dem Grunde desselben in Verbindung stehen. Manche dienen zur Aufnahme oberflächlich auf dem Gletscher fließender Bäche, welche mit Rauschen in denselben verschwinden und die Erscheinung der Mühlen (*Moulins*⁵²) hervorbringen. Andere stehen leer, aber meist erkennt man, dass sie früher eine ähnliche Bestimmung erfüllten, bis höher

⁴⁸ Agassiz, *Système*, p. 321.

⁴⁹ Charp., *Essai*, p. 80.

⁵⁰ Agassiz, *Système*, p. 323.

⁵¹ Agassiz, *Système*, p. 323.

⁵² Agassiz, *Système*, p. 343.

entstandene Risse den Bach verschlangen. Agassiz erklärt die Entstehung dieser Löcher aus früheren Spalten. Wo nämlich ein oberflächlicher Bach sich in eine solche versenkt, arbeitet sich das Wasser eine längliche Erweiterung aus, die oft mehrere Jahre ⁵³ noch fortbesteht, nachdem die Spalte durch Anfüllung oder Compression sich geschlossen hat. Agassiz beobachtete vertikale Löcher von 100 Met., ja von 260 Met. Tiefe ⁵⁴; sie endeten in unregelmässige weiterführende Höhlen, die vielleicht ein Ueberrest älterer Firnhöhlen sind, vielleicht auch dem Wasserabflusse selbst ihre Erweiterung verdanken. Die Entstehung solcher innerer Höhlen ⁵⁵ bleibt eine der unaufgeklärten Fragen in der Kenntniss der Gletscher. Die Mühlen und Kamine hingegen sind Folge der Zerklüftung, und insofern diese so wie der oberflächliche Wasserabzug an die lokale Beschaffenheit des Gletschers geknüpft sind, bleiben sie ebenfalls an gewisse Gegenden gebunden, wenn auch vielleicht nicht mit der von Forbes angenommenen Beständigkeit ⁵⁶.

Unglücke auf den Gletschern. — Dem Wanderer, der den Gletscher bereist, sind die Klüfte kein geringeres Hinderniss als die Morainen. Hat er oft Mühe, die letztern wegen ihrer Höhe und Steilheit zu erklimmen oder sich zwischen den chaotischen Blöcken hindurch zu arbeiten, so sieht er seinen Fuss plötzlich, wenn er nicht mit besondern Hilfsmitteln ausgerüstet ist, von einer gähnenden Spalte gehemmt, die ihn entweder zum Rückzuge oder zu langen Umwegen nöthigt. Er kann halbe Tage umherirren, bevor er sich aus dem verwickelten Gewirre von Spalten

⁵³ Agassiz führt eine Mühle an, die von 1841—1847 fort dauerte.

⁵⁴ Agassiz, *Système*, p. 347.

⁵⁵ Agassiz, *Système*, p. 349.

⁵⁶ Forbes, *Travels*, p. 85. Agassiz, *Système*, p. 347.

herauszufinden vermag. Oft auch, zumal in der Firnregion, bedeckt frischer Schnee mit schwacher Brücke den verborgenen Abgrund, und ein einziger Fehltritt kann dem unvorsichtigen Wanderer Gefahr bringen. Die Zahl der Opfer, die der Gletscher verschlungen, ist nicht unbedeutend; am bekanntesten sind zwei Fälle geworden: der Tod des Herrn Meuron⁵⁷ von Neuchatel, der 1821 auf der Höhe des Eigergletschers in eine 39 Met. tiefe Kluft stürzte und dessen Leichnam in Grindelwald bestattet liegt, und derjenige des Herrn Dr. Bürstenbinder⁵⁸ von Berlin 1846 auf dem Oetzthalergletscher. Er wurde zwar mit vieler Mühe lebend herausgehoben, verschied aber nach wenigen Stunden. Glücklicher entkam der Führer Davouasson⁵⁹, der auf dem Talèfregletscher 1836 in einer Spalte verschwand, denn es gelang ihm durch Einschnitte, die er mit seinem Messer in die Wände grub, sich hinauszuarbeiten. Bekannt ist auch das merkwürdige Schicksal des Christian Bohrer⁶⁰, Gastwirth zu Grindelwald. Er glitt in einen Riss von 118 Met. Tiefe, vermochte sich aber, des gebrochenen Armes ungeachtet, durch die Höle des Gletscherbaches hinaufzuschleppen, bis er am Fusse des Wetterhornes das Tageslicht wieder erreichte.

Gletscherstürze. — Als letzte Stufe der Zerklüftung lässt sich die vollständige Trennung der Gletschermasse bei Gletscherstürzen betrachten. An grossen in Thälern liegenden Gletschern geschieht es selten, an Gletschern zweiter Art sehr häufig, dass hohe Abstürze den Lauf des Eisstromes unterbrechen, der dann am hinausgeschobenen Rande in grossen Schiefern sich ablöst und

⁵⁷ Desor, Excursions, 1840, p. 52.

⁵⁸ Schlaginweit, Unters., p. 38.

⁵⁹ Forbes, Letters, XIII. Edinb. n. phil. J. 1847, April, p. 144.

⁶⁰ Bischoff, Wärme der Erde, p. 110.

mit weithingehörtem Donner in die Tiefe herabtrümmert. Viele kleinere Gletscher, z. B. diejenigen an der Nordseite der Jungfrauette im Berner Oberlande, nähren sich grossentheils aus den Lawinen und quaderartigen Firnblöcken (Seracs), die von dem hohen vergletscherten Bergkreise herabstürzen. Häufen sich die zerfallenden Gletschertrümmer in einer tiefern Schlucht, so schmelzen sie entweder weg oder es bildet sich, wenn auch nur vorübergehend, ein regenerirter Gletscher. Bisweilen ereignen sich solche Stürze durch ungewöhnliche Schneelasten, nasse Jahrgänge, den Druck höherer Schneemassen veranlasst, in grösserem Massstabe und verbreiten Schrecken und Verwüstung in den unmittelbar heimgesuchten Thälern.

Beispiele. — Einige Fälle dieser Art werden lange in der Erinnerung des Volkes fortleben. Der Gêtrozgletscher ⁶¹ im Bagnethal, von den Schluchten des M. Pleureur herkommend, goss von 1815 bis 1818 eine solche Eismasse ins Thal der Dranse, dass ein regenerirter Gletscherwall von 160 Met. Höhe und 260 Met. Länge entstand, dessen endlicher Durchbruch durch das Wasser des hochgestauten See's das ganze Thal bis Martinach und zur Rhone hinunter verwüstete. Ein gleiches Ereigniss wird vom Jahr 1595 berichtet. Es ist bekannt, wie Venetz mit Erfolg das einfache und, obwohl langsame, doch sichere Mittel einer Durchsägung mittelst des wärmern Tagwassers anwandte, um der Dranse einen regelmässigen Abfluss durch den Eis-

⁶¹ Vollständige Berichte über das Ereigniss des Bagnethales findet man in Bibl. univ. 1818 und Meissners naturw. Anzeiger 1818, Nr. 7; dann besonders in dem anonym erschienenen, vermuthlich von Charpentier herrührenden Schriftchen: *Première et seconde Course à l'éboulement du glacier de Gêtroz*. Vevey, Mai 1818 und Juni 1821. Ferner: *Examen des travaux etc.* von Chanoine Blanc 1825. Agassiz, *Etudes*, p. 156.

wall zu verschaffen. — Der Biesgletscher ⁶² im Nikolaithal ist schon wiederholt, nach Venetz durch vom Weisshorn herabgekommene Schneemassen, über die hohe Thalwand hinabgedrängt worden. 1636 fanden dadurch 13 Personen den Tod, 1736 und 1786 geschah es ohne bedeutenden Schaden, 1819 aber glitt eine Eismasse herunter, welche eine Strecke von 780 Met. Länge und 320 Met. Breite auf 48 Met. Höhe mit Schnee, Eis und Schutt bedeckte. Der entstandene Windstoss vermochte auf der andern Thalseite im Dorfe Randa Bäume zu knicken, Mühlsteine zu verschieben, Hütten umzustürzen, Menschen zu ersticken. Eine merkwürdige Lichterscheinung, vermuthlich eine Phosphoreszenz der an einander stossenden Eistücke, begleitete das furchtbare donnerähnliche Krachen. — Als Regel kann aufgestellt werden, dass, wo als mittelbare Folge der Gebirgsgestalt ein solches Ereigniss einmal sich zutrug, die zeitweise Wiederholung durch eine Vereinigung ähnlicher Umstände nicht nur möglich, sondern wahrscheinlich ist. Bei Bergstürzen erschöpft sich das verderbliche Material und seine Anlagerung gewinnt immer mehr Stabilität; bei Gletscherstürzen erneuert und sammelt es sich immer wieder und droht, wie das Wasser des Bergstromes, mit immer neuer Gefahr. Denselben Charakter haben auch die Schneelawinen, deren nähere Betrachtung aber dem Gletscherphänomen fremd ist.

⁶² Siehe Meissners naturh. Anzeiger 1820, Nr. 8. — Agassiz, Etudes, p. 156. — Engelhard, Naturschilderungen. Basel 1840, p. 175.

VII. Die Auflösung des Gletschers.

Ablation von Firn und Gletscher. — Der ganze Bildungsprozess des Gletschers, d. h. die Umwandlung des Schnees in Firn und des Firnes in Eis, beruht, wie erläutert worden, grossentheils auf den Fortschritten der Schmelzung; denn es ist das oberflächlich entstehende Schmelzwasser, das, von Druck und Kälte unterstützt, die Luft allmählig aus der porösen Masse drängt und die Vereisung der letztern zu Stande bringt. Darum auch bleibt in den hohen Firnmulden der grösste Theil des Schmelz- und Regenwassers in dem Firnschnee zurück und nur der kleinere entweicht, während der spätere aus vollendetem Eise gebildete Gletscher das oberflächlich entstandene Wasser nahe vollständig abgibt. Durch die ganze Länge des Gletschers verursacht die Schmelzung eine oberflächliche Abnahme oder Ablation¹ auf dem Firn zu Gunsten der inneren Verdichtung ohne bedeutende Massenreduction, auf dem Gletscher hingegen auf Unkosten der Masse des Eises, aber ohne Aenderung seiner Dichte. Dort hat die Ablation eine blosse Raumverminderung der jährlich neu hinzukommenden Firnschicht zur Folge, hier zehrt sie die winterliche Schneelage nicht nur vollständig auf, sondern greift immer tiefer in das herabrückende Gletschereis ein und vermag bis ans Ende auch dieses vollständig in Wasser umzuwandeln.

Schmelzungswärme. — Zur Schmelzung des Eises bedarf es bekanntermassen einer bedeutenden Wärmemenge: 1 Kil. Eis bei 0° muss, um zu Wasser zu werden, die

¹ Der von Agassiz gebrauchte Ausdruck.

Wärme aufnehmen, welche 79 Kil. Wasser zur Erwärmung um 1° C. nöthig haben. Diese Wärme kommt der Gletscher-oberfläche auf dreifachem Wege zu: durch die unmittelbare Einwirkung der Sonnenstralen, durch die Berührung der Luft, endlich durch auf das Eis fallende Regen.

Einfluss der Sonnenwärme. — Die erste Ursache wirkt nur am hellen Tage und auf die beschienenen Seiten der Firn- und Eisfelder. Bis zu den grössten Höhen hinauf bleibt der Gegensatz zwischen der Nord- und Südseite, zwischen Tag und Nacht ein höchst auffallender. Während auf Höhen, wo die Lufttemperatur niedrig ist, schattige Schnee- und Eisflächen oft bis Mittag, oft den ganzen Tag trocken und fest bleiben, lockern und schmelzen dieselben auf der Sonnenseite schon früh unter der intensiven Wärmeabsorption; Schnee und Firn erweichen sich, dass man fusstief einsinkt; wo die Unterlage dichtes Eis oder Fels ist, bildet sich ein halbflüssiger Eisbrei; auf dem Gletscher selbst erscheinen zahllose Adern und Bäche, die nach einem unregelmässigen Laufe in Spalten verschwinden. Das Glitzern der zerfallenden Firn- und Eis-theilchen, das allseitige Rieseln des Wassers, das Rauschen der sich versenkenden Bäche wecken auf dem Gletscher ein eigenthümliches Leben, das gegen Abend wieder verstummt und während der Nacht einer Todesstille Platz macht ².

Betrag derselben. — An direkten Versuchen über die Schmelzkraft der Sonnenstralen fehlt es bisher. Nach Pouillet's ³ Versuchen theilt die Sonne unter mittleren geographischen Breiten, senkrecht einfallend, zur Mittags-

² Desor, Excursion et séjour. Bibl. univ. Mars, Avril 1841, p. 15, 30. — Agassiz, Etudes, p. 209.

³ Pouillet, Ueber die Sonnenwärme. Poggend. Ann. XLV. p. 29. Er findet, dass auf 1 Quadratcentim. Fläche in 1 Minute eine Wärmemenge fällt, die genügt, um 1,2595 Gramme Wasser um 1° C. zu erwärmen, woraus sich die angeführte Zahl ableitet.

zeit eines hellen Julitages eine Wärmemenge mit, welche, vollständig absorbiert, für jedes Quadratmeter per Stunde 756 Einheiten beträgt, d. h. 756 Kil. Wasser um 1° C. erwärmen könnte. Dadurch werden 9,57 Kil. Eis geschmolzen, was auf 1 Quadratmeter vertheilt eine Dicke von etwa 10—11 Millim. darstellt *. Die wirkliche Abschmelzung bleibt aber tief unter dieser Gränze, weil erstens die Strahlen nicht senkrecht, sondern schief auffallen, sich daher auf eine grössere Fläche vertheilen; zweitens die Absorption durch eine partielle Reflexion geschwächt wird, welche gleichfalls mit der Schiefe bedeutend wächst, und drittens der über Nacht oberflächlich erkältete Gletscher, bevor die Schmelzung beginnt, wieder auf 0° erwärmt werden muss. Ferner gilt jene Zahl für den vollen Mittag und vermindert sich bis Abends 6 Uhr um mehr als $\frac{1}{4}$ wegen der grössern Luftdicke, welche die Strahlen zu durchdringen haben. Ueberhaupt wird die Schmelzung eines Tages um so bedeutender, je länger der Tag, je reiner der Himmel, je senkrechter die getroffene Fläche gegen die mittäglichen Strahlen gestellt ist. Rechnet man, um zu einer bestimmten Vorstellung zu gelangen, $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ der Wärme als wirklich zur Schmelzung dienend und 14 Stunden als ganze Dauer ihrer ungleichen Einwirkung, so steigt an einem hellen Sommertage der Betrag der Schmelzung durch die Sonne allein auf 20—25 Millimet.

Die Lufttemperatur. — Der Einfluss der Luft ist kein ganz einfacher und hängt nicht weniger von der Feuchtigkeit als von der Temperatur derselben ab. Die wahre Bedeutung beider Momente wurde erst durch die meteorologischen Beobachtungen, welche Agassiz und Schlaginweit auf dem Gletscher selbst anstellten, wenn auch

* Neuerdings hat Althaus (Pogg. Ann. XC. p. 548) für den günstigsten Tag mehrerer Jahre eine weit grössere Zahl bekannt gemacht, nämlich für 45° Breite 1620 Einheiten.

nicht quantitativ bestimmt, doch wesentlich aufgeklärt. Man muss davon ausgehen, dass die Gletscheroberfläche selbst in den heissesten Stunden 0° nicht übersteigt ⁴, indem alle weitere Wärme für die Schmelzung aufgezehrt wird, dass sie hingegen im Schatten und des Nachts in Folge des starken Strahlungsvermögens des Eises, welches nach Leslie ⁵ auf 0,85 von demjenigen des Lampenschwanzes, des stärkststralenden Körpers, steigt, weit unter 0° herabgedrückt wird. Mit Ausnahme einzelner Tage, wo kalte Winde über den Gletscher wehen, wird daher die Eisfläche stets kälter als die umgebende Luft sein, und diess erklärt den Ursprung des kalten Gletscherwindes, den man bei Annäherung an den Gletscher oder beim Ansteigen auf denselben oft bis auf eine Höhe von 7 Met. ⁶ empfindet. Während der ganzen 24 Stunden beobachtet man, vom Gletscher nach oben, ein Steigen der Temperatur. Auf der Pasterze ⁷ fand Schlaginweit als Mittel der Tagesstunden von 7 Uhr Morgens bis 7 Uhr Abends

Höhe	0 ^m ,16	0,97	1,95	3,40	43,53
Temperatur	2 ^o ,6	4,9	5,7	6,3	8,7.

Während die Temperatur der Luft auf dem Gletscherufer in 24 Stunden von $-1^{\circ},2$ (um 4 Uhr Morgens) bis $+10^{\circ},5$ (um 2 Uhr Nachmittags) variirte, änderte sie sich 0^m,16 über dem Eise von $-2^{\circ},3$ (gleichfalls um 4 Uhr) bis $+3^{\circ},2$ (um 9 bis 10 Uhr) und blieb von da bis Abends 5 Uhr

⁴ Hugi's Angaben von einer Temperatur der Oberfläche, die $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}^{\circ}$ beträgt, beziehen sich offenbar nicht auf das reine, sondern auf das von Luft und Wasser erfüllte Eis, oder sind nicht mit der nöthigen Sorgfalt angestellt worden. Die Gletscher und die erratischen Blöcke, p. 13.

⁵ Leslie, Gehlers Wörterbuch, X. 1, p. 425.

⁶ Schlaginweit, Unters., p. 367.

⁷ Schlaginweit, Unters., p. 369.

beinahe constant. Der Gletscher wirkt also vorherrschend erkältend, Nachts indem er die Luft gegen ein Minimum hintreibt, am Tage indem er ihr die Constanz der eigenen niedern Temperatur mitzutheilen strebt. Umgekehrt erhält der Gletscher beinahe immer von der Luft einen Zuwachs an Wärme, wodurch Nachts eine zu grosse Erkältung gehindert, am Tage eine wirkliche Schmelzung bewirkt wird. Natürlich gelten diese Verhältnisse nicht mehr für die Winterszeit, da eine starke ausgleichende Schneedecke den Gletscher selbst vor allen raschen und bedeutenden Temperaturveränderungen schützt.

Einfluss des Fönwindes. — Am entscheidendsten aber für die Schmelzung erscheint jener in den Alpen und ihrer Umgebung so bekannte, durch seine Heftigkeit und hohe Temperatur ausgezeichnete Wind, der in der Schweiz Fön genannt wird. Ein einziger Föntag kann bekanntermassen mehr Schnee zerstören als mehrere Tage des ungetrübtesten Sonnenscheines. Das geht auch aus folgendem sicher nicht übertriebenen Beispiele hervor. Man denke sich einen Fönwind von 3 Met. Geschwindigkeit, der über einen Gletscher von 1000 Met. Breite streichend bis auf 4 Met. Höhe seine Temperatur im Mittel von 25° auf 10° erniedrige. Jedes Quadratmeter Fläche wird alsdann stündlich 195 Wärmeeinheiten aufnehmen oder 2,76 Kil. Eis schmelzen, was einer Eisschicht von 3,4 Millim. entspricht und in 24 Stunden 83 Millim. Man füge dazu eine Regenmenge von 20 Millim. Höhe mit 25° Temp., so liefert diese 500 Wärmeeinheiten, welche für 6,33 Kil. oder etwa 8 Millim. Eis genügen. Die ganze Schmelzung an diesem einzigen Tage durch Luft und Regen betrüge also nicht weniger als 91 Millim. Eis, nahe das Vierfache der Wirkung der Sonne.

Einfluss der Luftfeuchtigkeit. — Weniger einfach sind die Beziehungen der Luftfeuchtigkeit zum

Gletscher. Absolut genommen bleibt sie auf grossen Höhen, wegen der niedern Temperatur, in der Regel gering. Schlaginweit⁸ schätzt den Dampfdruck auf hohen Gipfeln zu höchstens 6 bis 7 Millim. Quecksilber, ein Druck, welcher dem der Sättigung bei 4⁰ entsprechen würde, in der Regel steigt er nur auf 3 bis 5 Millim. Hingegen beweist die starke Wolkenbildung an Bergen, dass die relative Feuchtigkeit sehr häufig ihr Maximum erreicht, und diess gilt besonders auch von der Gletscherluft, aus der sich oft des Abends eine Nebelbank ausscheidet. Noch um 2 Uhr Nachmittag fand Schlaginweit⁹ auf dem Gletscher 91 Procente Feuchtigkeit, während das Instrument 292 Met. höher an der Thalwand nur 52 Prozent ergab. Einige Physiker, z. B. Hugi¹⁰, nehmen, gestützt auf das schnelle Austrocknen organischer Stoffe, eine sehr starke Verdunstung des Gletschers an; Rendu¹¹ hingegen und Andere sprechen umgekehrt der Condensation einen sehr grossen Antheil an der Bildung und Erhaltung des Gletschers zu und setzen die dadurch erzeugte Eisschicht auf 81 Kubikmet. jährlich oder 2,25 Millim. täglich. Vielleicht dient die folgende Betrachtung zur Aufklärung der widersprechenden Ansichten.

Condensation und Verdunstung des Gletschers. — Wäre die Luft ruhend und bleibend auf dem Gletscher, so würde sie nothwendig auf demjenigen Stande der Feuchtigkeit verharren, für welchen die Temperatur des Gletschers den Thaupunkt bezeichnet; denn jede grössere Dampfmenge würde ausgeschieden, jede geringere durch die Verdunstung des Eises, welche nach Dollfuss¹² wie die des

⁸ Schlaginweit, Unters., p. 404, 424.

⁹ Schlaginweit, Unters. — Agassiz, Etudes, p. 223.

¹⁰ Hugi, Alpenreisen, p. 347.

¹¹ Rendu, Theorie, p. 87.

¹² Agassiz, Système, p. 36, Note.

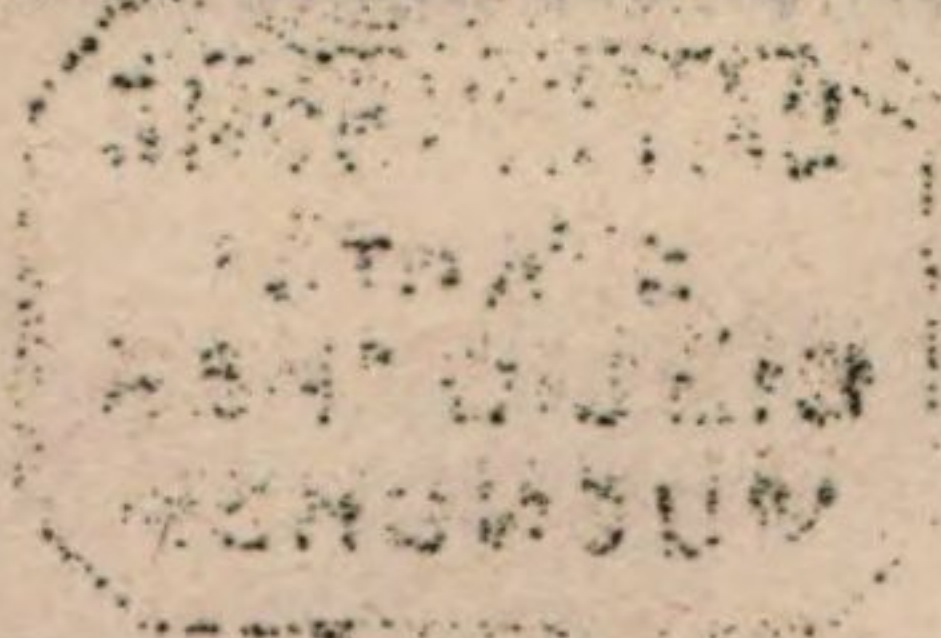
Wassers vor sich geht, wieder ersetzt. Zugleich würde die relative Feuchtigkeit von der das Eis berührenden Luftschicht an, die sich nahe auf 0 und auf dem Sättigungspunkte befindet, nach oben wegen der zunehmenden Wärme allmählig sinken, und zwar an warmen Tagen bis unter die halbe Sättigung. Endlich müsste jede Erkältung des Gletschers, z. B. durch nächtliche Ausstrahlung, eine Condensation von Feuchtigkeit, jede Wiedererwärmung bis 0 eine Verdunstung zur Folge haben.

Vergleicht man mit diesen theoretischen die wirklichen Verhältnisse, so bestätigt sich vollständig die nächtliche Condensation. Während der Nacht, oft schon des Abends, bekleiden sich alle kleinen Hervorragungen und Unebenheiten der Gletscherfläche, wie im Tieflande an kalten Wintertagen, mit feinen Eisnadeln, Gletscherblumen ¹³, und die Luft der hohen Firngegenden selbst nähert sich, gemäss den Beobachtungen Saussure's ¹⁴ auf dem Col du Géant, einem Zustande grösserer Trockenheit. Dagegen scheint die höher über dem Gletscher befindliche Luft bei der steten Erneuerung, die sie durch allgemeine Winde und lokale Strömungen erleidet, oft nicht denjenigen Grad von Trockenheit zu erhalten, den das vorgenannte Gleichgewicht des Dampfes voraussetzt. Die Folge wird sein, dass der grössere Dampfdruck, auf die das Eis berührende Luftschicht übertragen, Verdichtung bewirkt. So erklärt sich der anfangs paradox klingende Ausspruch von Agassiz ¹⁵, dass der Gletscher, abweichend vom Wasser, vornämlich bei warmer Witterung, in der Sonne und beim Fön condensirt, hingegen nur in den ersten Morgenstunden und an bedeckten Tagen, wenn

¹³ Agassiz, Etudes, p. 209.

¹⁴ Saussure, Voy. IV, § 2057, p. 258.

¹⁵ Agassiz, Système, p. 35, 36.



kalte trockne Winde über das wenig erkältete Eis streichen, verdunstet. Nach Dollfuss ¹⁶ tritt im Sommer der letztere Fall siebenmal seltener ein als der erstere; die bekannt gewordenen Beobachtungen genügen aber nicht, das quantitative Verhältniss der Condensation und Verdunstung genauer festzustellen.

Verdunstung und Erhaltung organischer Körper. — Von dem eigenthümlichen Verhalten des Gletschers, Folge seiner stets tiefen Temperatur, darf man aber nicht auf dasjenige anderer Körper schliessen. Indessen der Gletscher condensirt, erhalten am Tage wenigstens andere Körper auf demselben, namentlich hervortretende, eine höhere Temperatur und verdunsten. Man sieht in kleinen Wasseransammlungen das Wasser sinken, fliessende Wasseradern auf dem Gletscher ausgehen ¹⁷ und Aehnliches mehr. Das ungewöhnlich schnelle Austrocknen organischer Stoffe, die starke Ausdünstung der Haut ohne Schweiss ¹⁸ sind auf Höhen über 3000 Met. bekannte Erscheinungen; sie erklären sich aus der Wärme der Gegenstände oder des Körpers im Vergleich zur geringen Feuchtigkeit der stets bewegten, unter geringem Druck stehenden Luft. Dass todtte Insekten Monate durch, Stroh oder Blätter mehrere Jahre auf dem Gletscher sich erhalten ¹⁹, scheint immerhin weniger von der Austrocknung derselben als von der niedern Temperatur herzurühren, welche, der Feuchtigkeit ungeachtet, die Zersetzung verzögert. Forbes führt zwei Beispiele langer Erhaltung organischer Stoffe auf dem Gletscher an: Leder-

¹⁶ Agassiz, Système, p. 415.

¹⁷ Agassiz, Système, p. 38. Auch die Aufsaugung mag dabei im Spiele sein.

¹⁸ Agassiz, Système, p. 33.

¹⁹ Hugi, Alpenr., p. 365, glaubt umgekehrt an eine schnelle Zerstörung animalischer Theile.



theile eines in einem Gletscherriss verlorenen Tornisters kamen nach 10 Jahren wieder unversehrt zum Vorschein ²⁰; Stücke einer Leiter, die erwiesenermaassen Saussure bei seinem Aufenthalte auf dem Col du Géant gedient hatte, wurden 40 Jahre später, 5000 Met. weiter abwärts als die Stelle, wo sie liegen geblieben, wieder aufgefunden ²¹.

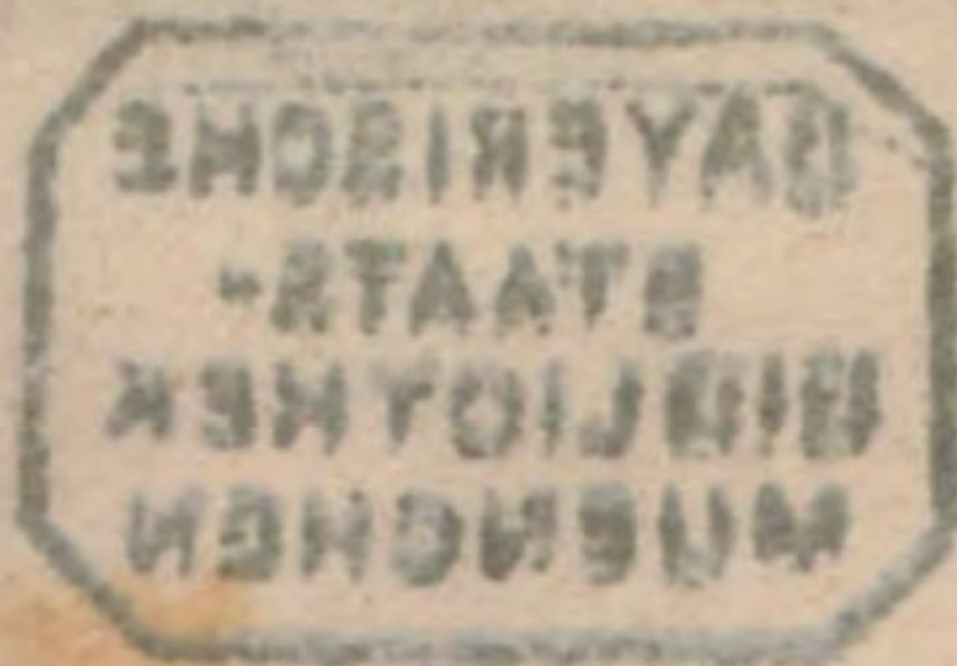
Beobachtung der Ablation. — Genügen auch die Beobachtungen nicht, den Betrag der verschiedenen Ursachen der Ablation — Schmelzung durch Sonne, Luftberührung und Regen, Verdunstung und gegenwirkende Condensation — einzeln auszuscheiden, so geben sie doch manche Aufschlüsse über die Grösse ihrer vereinten Wirkung. Die Senkung der Oberfläche wurde gewöhnlich dadurch ermittelt, dass man entweder das allmälige Hervortreten eingepflanzter Pfäle oder die Tiefenabnahme geschützter Löcher der Messung unterwarf, wobei man sich allerdings vor allfälliger Vertiefung der Löcher durch Schmelzung oder vor Ausfüllung durch Eis zu wahren hat. Bei dieser Gelegenheit, indem nicht allein die Tiefe der Löcher, sondern auch ihr absoluter Stand mit Bezug auf eine nach festen Punkten des Ufers angestellte Linie genau bestimmt wurde, erkannte Martins ²² die wichtige Thatsache, dass der Stein im Grunde des Bohrloches nicht, wie man früher geglaubt, in einer schief ansteigenden Richtung emporgetrieben werde, sondern mit dem Eise sich niederwärts bewege und lediglich durch die Zerstörung der höhern Eisschicht ans Tageslicht komme.

Jährliche Ablation. — Ueber die jährliche Ablation in den höhern Gegenden der Gletscher fehlt es

²⁰ Forbes, XIIIth Letter. Ed. n. phil. J. XLII, p. 145.

²¹ Forbes, Travels, p. 86.

²² Martins, Ann. d. soc. géol. par. Rivières 1842, p. 9.



an Angaben. Stangen, welche Agassiz²³ auf dem obersten Finsteraargletscher eingesenkt, zeigten das eine Jahr eine Ablation, blieben aber das andere unter einer perennirenden Schneelage verborgen. An der Firngränze jedoch vermag die Schmelzung im Mittel die jährliche Firnschicht, welche in ganz dichtem Zustande 2—2,5 Met. beträgt, zu vernichten. Höher bewirkt die Ablation nur eine immer geringer werdende Reduktion der Jahresschicht; tiefer zehrt sie schon bis Ende Juni und Anfangs Juli die winterliche Schneedecke vollständig auf und arbeitet bis Ende September, da eine neue bleibende Schneedecke beginnt, an der Zerstörung des eigentlichen Gletschers. Für den Aargletscher findet Agassiz²⁴ von 1841—42 an verschiedenen Pfälen eine Abtragung von 3—3,5 Met., wobei mehr als 1 Met. auf den einzigen Monat August fällt. Pfäle, welche Escher auf dem Aletschgletscher 1^m,2 tief eingerammt, lagen nach 1¹/₂ Monaten frei auf dem Eise. In ein 42 Met. tiefes Bohrloch wurden 0^m,3 lange Holzstücke, getrennt von 3 Met. aus kleinen Steinen, versenkt, das oberste befand sich 0^m,5 unter der Oberfläche. Nach 3¹/₂ Jahren (Ende 1841 bis 1845) waren 4 Holzstücke blossgelegt, was für jedes Jahr 3^m,2 ausmacht. Ed. Collomb²⁵ schätzt die Ablation in der Firngegend auf 1 Met., in den mittlern Gletscherhöhen auf 2—2,5 Met., nach dem Gletscherende hin auf 3—3,50 Met.; doch fragt es sich, ob unter dem ausgleichenden Einfluss der Gletscherwinde und der Gletschertemperatur die Unterschiede wirklich so gross sind.²⁶

Tägliche Ablation. — Zahlreicher sind die Beobachtungen über die Senkung der Gletscherfläche während

²³ Agassiz, Syst., p. 396.

²⁴ Agassiz, Syst., p. 382—384.

²⁵ Ed. Collomb. Bibl. univ. Jan. 1849. p. 30.

²⁶ Schlaginweit, Untersuch., p. 156. 157.

kürzerer Zeiträume und einzelner Tage. Forbes²⁷ erhielt auf der Mer-de-Glace für die Monate Juli bis Sept. 1842 tägliche Depressionen, die von 90 Millim. bis 104 Millim. variirten; er schreibt aber diese bedeutenden Veränderungen ausser der Abschmelzung einem allgemeinen Zusammen-sinken der Gletschermasse zu. Bei den Versuchen von Martins, Agassiz und Schlaginweit mit Pfählen und Bohr-löchern fiel dieser Fehler weg; zugleich versicherte man sich von der Unveränderlichkeit des Grundes der Löcher. Aus diesen Versuchen erkennt man den grossen Einfluss der Temperatur auf die Abschmelzung. Martins²⁸, der zuerst genaue Beobachtungen unternahm, fand auf dem kleinen Faulhorn-gletscher in 2800 Met.

1841 v. 8. Aug. bis 5. Sept., mittl. Temp. 4^o6, tägl. 35,^{mm}4

1842 „ 11. bis 17. Aug. „ „ 7 „ 66,7

Ablation und Temperatur standen demnach nahe im gleichen Verhältniss und waren für den warmen Sommer 1842 das doppelte von 1841. Dasselbe Resultat erhielt Agassiz²⁹ auf dem mächtigen Aargletscher in 2486 Met. Höhe. Die tägliche Abschmelzung im August 1841 betrug 33 Millim., im Juli 1842 hingegen 70 Milim. An einzelnen Tagen des letztern Jahres schwankte sie von 50 bis gegen 110 Millim., je nach den Ungleichheiten der Witterung, und hielt sich an Regentagen meist auf 65—75 Millim. Aehnliche von der Witterung abhängigen Ungleichheiten zeigen die Beobachtungen von 1845, die als Mittel von 21 Beobachtungspunkten ergaben

²⁷ Forbes, Trav., p. 253.

²⁸ Martins, Remarques etc. Bibl. univ. 1843. T. XLIII. p. 369.

— Nouv. observ. Bibl. univ. T. LVI. p. 323.

²⁹ Agassiz, Syst., p. 385.

21. Juli — 31. Juli tägl. 44^{mm},8 — veränderlich, schöne Tage.
 31. Juli — 10. Aug. — 25,3 — neblig und regnerisch.
 11. Aug. — 16. Aug. — 13,6 — Nebel, Regen, Schnee.
 16. Aug. — 6. Sept. — 30,2 — veränderlich, milde Tage.
 6. Sept. — 12. Sept. — 24,6 — ziemlich schön.
 12. Sept. — 24. Sept. — 15,0 — Schnee, Regen, veränderlich.

Der Betrag der Abschmelzung erscheint hier als eine von der Witterung und der Taglänge abhängige Grösse, wobei freilich ein einziger Schneefall die Wirkung der Wärme auf den eigentlichen Gletscher während ganzer Tage verzögern kann. Ueber die Beziehung der Ablation zur Tagesstunde gibt eine von Dollfuss³⁰ den 31. August 1844 unternommene Reihe stündlicher Messungen nähern Aufschluss. Er fand:

Stunde	9 ^h	10	11	12	1	2	3	4	5
Temp. (Schatten)	9 ⁰	9,5	11,5	12,5	9	6,5	4,5	4	
Ablation	8 ^{mm}	7	12	10	5	2	1	0	

Die Abschmelzung begann erst mit 9 Uhr Morgens und endete mit 5 Uhr, bei 4⁰ Temp.; sie betrug in diesen 8 Stunden 45 Millim., stieg aber an wärmern Tagen auf gleicher Stelle auf 65 Millim.

Einfluss der Lage und Oertlichkeit. — Aus den Beobachtungen geht zweitens hervor, dass bei der Abschmelzung der Sommertage die Höhe einen geringern Einfluss ausübt, als die Beschaffenheit des Eises und die Verhältnisse der Oertlichkeit. In ersterer Hinsicht fand Schlaginweit³¹ auf der Pasterze einen auffallenden Unterschied zwischen dem Firn und dem Gletscher. Auf jenem, der grössern Höhe ungeachtet, stieg die tägliche Abschmelzung vom 25. August bis 6. Sept. 1847 auf 100 Millim., auf

³⁰ Agassiz, Syst., p. 405.

³¹ Schlaginweit, Unters., p. 155.

dem Gletscher blieb sie dreimal kleiner: 26—30 Millim. Die Lockerheit der Masse begünstigt also das Eindringen der Wärme und damit die Abschmelzung; doch muss dieser Umstand seine Gränze haben, da Martins³² mit wirklichem Schnee ein entgegengesetztes Resultat erhielt. Vom 26. Juli bis 6. August 1841 beobachtete er auf dem Faulhorn eine tägliche Abschmelzung des Schnee's von 38 Millim., des Eises von 31 Millim.; im August 1842 für Schnee 64 Millim., für Eis 80 Millim.; die Lufttemperaturen waren im Mittel 3⁰,48 und 7⁰,18. — Was die Oertlichkeit betrifft, so geben zwar die Beobachtungen von Forbes³³ auf der Mer-de-Glace im Juli und August für die höhere Station (Trèlaporte) eine geringere Abschmelzung von 69 Millim.; für die tiefere (Montanvert) eine grössere von 92 Millim.; allein die regelmässigen Unterschiede verschwinden bei den umfassenden Messungen, welche Agassiz³⁴ im Jahr 1845 auf verschiedenen Höhen des Aargletschers, in 2000 Met. (Bärenritz), in 2250 Met. (Brandlamm), und in 2500 Met. (Hôtel) ausführen liess. Sie gaben vom 28. Juli bis 23 Sept. für die tägliche Abnahme des freien Eises folgeweise 35^{mm},4, 38,2 und 30,7. Eben so gross waren die Abweichungen, welche die einzelnen Pfäle einer nämlichen Reihe darboten. Namentlich geht aus der umfassendsten dieser Reihen, welche 13 Pfäle auf dem Zuflusse des Lauteraar, 8 auf demjenigen des Finsteraar umfasste, eine merkwürdige Uebereinstimmung³⁵ zwischen der Stärke der Abschmelzung und den grössern Ungleichheiten des Gletschers hervor, zum Beweise, dass letztere vorzüglich der erstern ihren Ursprung verdanken. Die convexe

³² Martins, Remarques, p. 13.

³³ Forbes Xith Letter. Edinb. n. phil. Journ. 1846. p. 414.

³⁴ Agassiz, Syst. p. 391.

³⁵ Agassiz, Syst., p. 395.

Gestalt, welche kleinere Gletscher im Querprofil zeigen, die steilen Seitenabfälle der grössern sind eine, vom abfliessenden Wasser unterstützte Wirkung der stärkern Schmelzung, welche die Reverberation der Thalwände hervorbringt. Ebenso hält sich gewöhnlich, wie am Aargletscher, die Schattenseite höher als die Sonnenseite des Gletschers. Auf dem nach Nord abfallenden kleinen Grünberggletscher³⁶ war die Abschmelzung an dem gleichen Tage, wo sie auf dem Hauptgletscher 30 Millim. betrug, nur 17^{mm},7.

Einfluss der Morainen. — Einen sehr grossen Einfluss hat drittens auf die Ablation die Gegenwart fremder Körper, welche mehr oder weniger vollständig die Einwirkung der Sonne, der Luft, des Regens vom Eise abhalten. Jene umfassenden Beobachtungen von Agassiz im Jahre 1845 geben für die grosse Mittelmoraine des Aargletschers eine tägliche Ablation von 7^{mm},5, während sie auf dem freien Eise 30 Millim. betrug. Die geringere Ablation bei Bedeckung des Eises ergab sich auch aus direkten Versuchen von Desor.³⁷ Vom 10—16. August erhob sich das Eis täglich unter einer Wollendecke um 12^{mm},5

„ einem Brette 17,5

„ Rasen od. Schneedecke 18,7.

In grösserem Maassstabe bedeckte Dollfuss³⁸ den 21. Juli 1845 zwei, 9 und 6 Quadratmeter grosse Eisflächen mit Rasen. Am 23. Sept., also nach 53 Tagen, zeigte sich erstere um 2 Met., letztere um 1^m,8 höher als der umgebende Gletscher, was eine tägliche Senkung von 37^{mm},7 anzeigt, welche Zahl in Folge einer Reverberation der hervorragenden Theile sogar grösser ist als die Abschmelzung des freien Eises. Schützt eine unterbrochene Decke von

³⁶ Agassiz, Syst., p. 399.

³⁷ Desor, Nouv. Excurs. 1845. p. 93. — Agassiz, Syst., p. 402.

³⁸ Agassiz, Syst., p. 402.

Schutt und Steinen auch nicht so vollständig wie eine Rasen- oder Schneeschicht, so darf die jährliche Verminderung der Schmelzung doch mindestens auf 1 Met. angeschlagen werden³⁹, und diess genügt, um nach mehreren Jahren die dammartigen Erhöhungen der Gufferlinien zu erklären⁴⁰, die, wie schon gesagt, aus reinem Eise mit einer blossen Krone von Schutt bestehen. Im weitem Verlaufe erhöht und verdünnt sich der Damm so, dass die Trümmer, seitwärts herabstürzend, sich ausbreiten, und nun beginnt durch Beschützung der umgebenden Stellen, durch Entblössung der Dammkrone ein entgegengesetzter ausgleichender Prozess, welcher mit der Ebnung der Fläche und mit Ausbreitung der Trümmer in eine gleichmässige Decke endet. Eine solche Decke trägt dann hinwieder dazu bei, den Gletscher vor Luft und Sonne zu schützen⁴¹, ihn auf längere Zeit und auf eine grössere Länge bestehend zu erhalten.

Gletschertische und Schuttkegel. — Die Erscheinung der Beschützung wiederholt sich an einzelnen Steinblöcken und Schutthaufen, die stark genug sind, die Einwirkung der Wärme abzuhalten. Schon 1787 gab Studer⁴², Vater, die richtige Erklärung der Gletschertische (*Tables de glaciers*), einzelner grosser Blöcke, die auf einem bis 2 und 3 Met. hohen Eispfeiler wie ein Tisch auf seinem Fusse ruhen.⁴³ Vor den Sonnenstrahlen gesichert

³⁹ 60 Tage Ablation zu 37mm,7 würden 2m,27 geben. — Schlaginweit, Unters., p. 154.

⁴⁰ Saussure, Voy. 1. § 536. p. 456.

⁴¹ Saussure, Voyage, II. § 864. p. 293.

⁴² B. Studer (anonym). Höpfner, Magaz., 1787 I. p. 200. — Dennoch sprach Hugi, Alpenr. p. 361, noch von einem Emportreiben der Blöcke. — Agassiz, Etudes, p. 127.

⁴³ Siehe Zeichnungen bei Forbes Trav. T. 1. — Und Agassiz Vues suisses v. Lory.

erhält sich das Eis unter dem Blocke, während es ringsherum, zunächst sogar wegen der Ausstrahlung und Zurückwerfung der Wärme vom Blocke am stärksten, schmilzt. Schlaginweit⁴⁴ fand das tägliche Sinken mehrerer Gletschertische gleich 7—8 Millim., indess die Fläche ringsherum sich um 28—30 Millim. erniedrigte. Allmähig hölt sich der Eispfeiler auf der ausgesetzten Südseite aus, der Block ragt immer weiter über seinen Fuss heraus, verliert endlich sein Gleichgewicht und stürzt oder gleitet nach der nämlichen Seite herunter. Je stärker die Ablation, je kleiner die Blöcke — an der Firngränze zeigen oft kopfgrosse Steine in grosser Zahl die Erscheinung — desto weniger lange halten sie sich, desto öfter wiederholt sich im Laufe des Jahres der nämliche Vorgang, vermöge dessen die Blöcke ein stufenweises Niedersteigen, je nach der Lage des Gletschers schneller oder langsamer als dieser, erhalten. Der Bosson-, der Theodul-, der Lauteraargletscher⁴⁵ sind für ihre schönen, meist in der Nähe der Morainen befindlichen Gletschertische bekannt. — Die Schuttkegel (*Cones de graviers*)⁴⁶ rühren von einer Beschützung des Gletschers durch Haufen von Trümmern her. Da dieselben allmähig herabrollen, so bildet sich statt eines Pfeilers ein kegelförmiger Hügel, der bei grossen Massen 4 Met. Höhe auf 12 Met. Umfang erreichen mag, dann aber wie die Gufferlinien allmähig sich erniedrigt und ausbreitet. Meist sind sie unbedeutend und verdanken ihre Entstehung einer Zusammenschwemmung von Steinchen und Sand durch Gletscherbäche.

Einsenkungen des Gletschers. — Merkwürdig ist, dass kleine organische Körper oder zerstreute Erd- und

⁴⁴ Schlaginweit, Unters., p. 155.

⁴⁵ Agassiz, Etudes, p. 131.

⁴⁶ Studer, Höpfners Mag. 1787. 1. p. 202. — Agassiz, Etudes, p. 132. — Forbes, Trav., p. 26.

Sandtheile, weil sie die Wärme stärker absorbiren und sich mehr erwärmen als das umgebende auf 0 bleibende Eis, umgekehrt eine stärkere Schmelzung ihrer Unterlage veranlassen und mehr oder weniger tief in den Gletscher einsinken. Man sieht so Blätter, Halme, Insekten 10—20 Millim. tief im Grunde eines verticalen Loches liegen, das wunderbar treu ihren Umriss behalten hat.⁴⁷ Oft erscheint die ganze Oberfläche wie durch Regentropfen, von zahllosen parallelen Löchern durchbohrt, auf deren Boden man jedesmal ein Sand- oder Erdtheilchen entdeckt. — Wie vor langem Rumford⁴⁸ nachwies, trägt die Eigenschaft des Wassers, bei 0° spezifisch leichter zu sein als bei einer höhern Temperatur bis 4°, viel zur weiteren Austiefung der erst entstandenen Einsenkungen bei. Sammelt sich Wasser in einer Vertiefung, so sinken die oberflächlichen etwas erwärmten Theilchen, als schwerer, hinab, während die durch Schmelzung des Eises auf 0 erkalteten wieder emporsteigen; es entstehen verticale Wirbel, die den Grund stets wieder angreifen und so lange fortdauern, als die oberflächliche Erwärmung anhält. So entstehen, durch Sand und Erdtheilchen veranlasst, die zahllosen Wassertümpel und Wasserwannen (*Baignoires*)⁴⁹, die man auf den Gletschern beobachtet und aus denen man die Luft des sich auflösenden Eises in Bläschen emporsteigen sieht. Eine wirklich grossartige Erscheinung beobachtet man auf dem Monte-Rosa-Gletscher⁵⁰; grosse in Reihen geordnete Trichtergruben (*Entonnoirs*), bis auf 10 Met. Tiefe, mit dem reinsten Wasser erfüllt, deren anfängliche Bildung vermuthlich in

⁴⁷ Hugi, Alpenreise, p. 364.

⁴⁸ Rumford, Gilb. Ann. 1804. T. XVIII. p. 361.

⁴⁹ Studer, Höpfners Mag. I. p. 205. — Agassiz, Etudes, p. 89. — Syst. p. 100.

⁵⁰ Agassiz. Etudes, p. 54.

dem Zusammentreffen mehrerer Gletscherbäche zu suchen ist. Endlich hat Desor mit dem Namen Meridianlöcher⁵¹ Vertiefungen von 0^m,3 — 0,6 Weite und 0,2 — 0^m,3 Tiefe bezeichnet, welche mit ihrer einen Halbkreis darstellenden Oeffnung so orientirt sind, dass der Bogen nach Norden, der Durchmesser nach Süden liegt. Die tiefste, meist von Sand bedeckte Stelle findet sich auf der Seite des Bogens. Nach Keller bildet sich die grösste Ausweitung und Vertiefung des Loches an der Seite desselben, gegen welche die schief einfallenden Sonnenstralen am stärksten wirken. — Alle diese Löcher, mit Ausnahme derjenigen, durch welche zufällig Spalten gehen, sind am Tage mit Wasser gefüllt; nach Sonnenuntergang hingegen sinkt die Oberfläche sehr bald auf 0⁰ und überzieht sich vom Rande aus mit einer Schicht von Wassereis, dessen radiale und concentrische Streifung die Bezeichnungen Gletscherstern und Gletscherrose (*étoiles ou roses du glacier*)⁵² veranlasst hat.

Wiederherstellung der Gletscherfläche. —

Alles zusammengefasst erkennt man, dass die Abschmelzung nach ihren verschiedenen Modificationen eines der Hauptmomente ist, welches im Grossen wie im Kleinen die Gestalt der Gletscheroberfläche bestimmt. Die Reverberation der Thalwände rundet sie nach den Seiten ab; die Gufferlinien und einzelne Blöcke erhalten einzelne Dämme und Pfeiler derselben; Adern und Bäche, oft von bedeutender Länge und Breite⁵³, durchgraben sie mittelst ihres etwas erwärmten Wassers; kleine Körper veranlassen Ver-

⁵¹ Desor, Comptes rendus u. Bibl. univ. 1843. T. XLIV. — Edinb. n. phil. J. 1844. T. XXXVI. p. 148.

⁵² Agassiz, Syst., p. 100.

⁵³ Agassiz fand die Länge eines solchen Baches gleich 1100 Met., sein Wassergebiet gleich 250000 Quadratmet. Syst. p. 98.

tiefungen aller Art u. s. f. Alle diese Ungleichheiten vermehren und vervielfältigen sich im Laufe des Sommers, so dass der Gletscher im Herbst kaum mehr kenntlich ist und statt des frischen gleichartigen Ansehens einen veralteten, durchfurchten, zusammengesunkenen Anblick gewährt.⁵⁴ Der Winter mit seiner mächtigen Schneedecke gleicht aber auf eine merkwürdige Weise die kleineren Unregelmässigkeiten wieder aus, sei es, dass er wirklich eine Auftreibung des Gletschers zur Folge hat, wovon später die Rede sein soll, sei es, dass die dünnere Schneelage der hervorragenden Theile früher wegschmilzt und diese früher dem zerstörenden Einfluss der Sonne und Luft ausgesetzt.⁵⁵ Die Wiederherstellung der Gletscherfläche unter dem Einfluss des Winters ist eine, wenn auch nicht ganz aufgeklärte, doch feststehende Thatsache.

Schmelzung durch Erdwärme. — Vielfach besprochen wurde die Frage über die Schmelzung auf der untern Fläche des Gletschers. Nachdem Saussure⁵⁶ auf seiner Winterreise nach Chamouni die Bäche mehrerer Gletscher, namentlich den Arveiron, den Abfluss der Mer-de-Glace, mit der Hälfte ihres Wassers fließen gesehen, betrachteten die meisten Physiker die beständige Abschmelzung des Gletschers durch die Wärme der Erde und die daherige Ablösung desselben von seiner Unterlage als erwiesene Wahrheit. Bald aber wurden Thatsachen angeführt, die umgekehrt einen festen Anschluss des Eises am Felsen anzunehmen nöthigten. Gletscher zweiter Ordnung halten sich auf steilen Flächen, wo es durch die Schwere allein nicht möglich wäre; Wasseransammlungen bilden sich am

⁵⁴ Etudes, p. 46. — Forbes, Trav., p. 135. 409

⁵⁵ Agassiz, Syst., p. 413. — Forbes, Trav., p. 384.

⁵⁶ Saussure Voy. 1. § 532. p. 451. — Forbes, Trav., p. 61.

Rande der Gletscher, die erst gegen den Sommer hin einen unterirdischen Abfluss erhalten⁵⁷, selbst grössere oder tiefersteigende Gletscher, der untere Grindelwald-⁵⁸, der Rosenlauri-⁵⁹, der Oberaargletscher⁶⁰ liefern im Winter kein Wasser mehr. Die richtigen Grundsätze zur Lösung dieser Widersprüche hat Bischoff⁶¹ aufgestellt. In einer Höhe, wo die mittlere Bodenwärme 0° nicht übersteigt, — eine Höhe, welche Bischoff⁶² auf 2010 Met. setzt, Schlaginweit⁶³ jedoch nach zahlreichen Quellentemperaturen erst bei 2800 bis 2900 Met. findet — kann die Temperatur unter einer grössern Schnee- und Eisbedeckung, selbst im Sommer, nicht über 0° fallen; jede Schmelzung fällt weg und Sommer und Winter muss das Eis mit dem Boden verwachsen bleiben. Wo hinwieder der Gletscher in ein milderes Klima hinabreicht, wird, des erkältenden Einflusses des Eises ungeachtet, oder eben um dieses Einflusses willen, ein Ausströmen der Bodenwärme stattfinden, die ihn auf seiner Unterseite angreift und ablöst. Bei mächtigen Gletschern, in welchen die Winterkälte nicht bis auf den Boden dringt, was bei der schlechten Leitung des Eises eine Dicke von 20 — 30 Met.⁶⁴ voraussetzen mag, kann selbst im Winter Abschmelzung erfolgen⁶⁵; bei weniger dicken oder kleinern

⁵⁷ Agassiz, Syst., p. 432.

⁵⁸ Bischoff, Wärmelehre, p. 116. — S. die interessanten Beobachtungen von Ziegler, p. 118.

⁵⁹ Agassiz, Syst., p. 375.

⁶⁰ Desor, Course en hiver. Bibl. univ. 1847. T. XXXVIII. p. 370. 385.

⁶¹ Bischoff, Wärmelehre der Erde. Cap. IX. p. 101—136.

⁶² Bischoff, Wärmelehre, p. 225.

⁶³ Schlaginweit, Unters., p. 268. Tab. V.

⁶⁴ Muncke, Geol. Wörterb. III. p. 989.

⁶⁵ Altmann hat schon 1751 diese Meinung ausgesprochen. Beschreibung der helvetischen Eisgebirge, p. 49.

Gletschern, deren Grund daher unter 0^0 herabsinkt, bliebe dieselbe auf die einzige warme Jahreszeit beschränkt, würde nicht die verzögerte Wärmemittheilung nach der Tiefe die Epoche der Schmelzung verändern.

Schwäche der untern Schmelzung. — Wenn aber auch in vielen Fällen Schmelzung eintritt und ein Festwachsen der tiefer reichenden Gletscher nicht stattfindet (Beobachtungen am Rande der Gletscher haben in dieser Hinsicht kein Gewicht), so ist damit noch nicht entschieden, dass diese Ursache genügend sei, wahre Gletscherbäche zu liefern. In der Höhe der meisten Gletscher beträgt die mittlere Bodentemperatur mehr nicht als $3 - 5^0$ und sinkt durch die Nähe des Gletschers noch merklich tiefer. Bischoff⁶⁶ fand zunächst am obern Grindelwaldgletscher in einer Tiefe von $0^m,3$ und unter dem Einfluss von 6^0 nur $3^0,5$; Ziegler⁶⁷ beobachtete in $1^m,3$ Tiefe, zunächst am untern Grindelwaldgletscher, Temperaturen, die von $0^0,1$, als Minimum, im März (1836) bis zu einem Maximum von 4^0 im Juli variirten, während die Veränderung beim Dorfe von $2^0,2$ auf $9^0,8$ stieg. Bei einem so geringen Temperaturüberschuss des Bodens über das aufliegende Eis — eine Folge der schlechten Wärmeleitung des Bodens — erscheint die übergehende Wärmemenge im Vergleich mit der für die Schmelzung erforderlichen als sehr gering und kann unmöglich für grössere Wassermengen genügen. Nach den Rechnungen von Elie de Beaumont⁶⁸ vermag die aus der Erde strömende Wärme im ganzen Jahre höchstens eine Eisschicht von 62 Millim. zu schmel-

⁶⁶ Bischoff, Wärmel., p. 108.

⁶⁷ Bischoff, Wärmel., p. 423.

⁶⁸ Beaumont, Bull. de la soc. philom. Juillet 1842. — Edinb. n. phil. Journ. April 1843. — Die Schmelzungswärme zu 79 statt 75 Einheiten angenommen.

zen, was auf den Tag kaum 0^{mm},17 ausmacht, und diese Grösse vermindert sich noch für höhere Stellen. Aus der Wärme der Erde lässt sich also die Entstehung von Wasserbächen, wie sie Saussure im Winter beobachtete, nicht erklären; man muss eine andere Ursache aufsuchen und da erscheint es wohl am natürlichsten, das Wasser von Quellen abzuleiten, die mit ziemlich constanter Temperatur unter dem Eise sprudeln, wie man solche wohl in den meisten Thälern beobachtet.⁶⁹ Treten doch wahre Thermen, — z. B. die Quelle von Leuk mit 37° in 1395^m, — in Höhen zu Tage, welche diejenigen des Endes mancher Gletscher merklich übertreffen.⁷⁰

Untere Abschmelzung durch Wasser. — Während der wärmern Monate arbeiten ausserdem zwei andere Ursachen an der Zerstörung der untern Gletscherfläche: die von oben auf den Grund gelangenden Wasser, und die Luftströmungen, welche unter den Gletscher einen Weg finden. — Der Theil des Schmelzwassers, der vermöge der Filtration vordringt, kann freilich, der langen Berührung mit dem Eise wegen, keine von 0 abweichende Temperatur besitzen und daher nichts zur Abschmelzung beitragen; der zweite Theil hingegen, welcher an schönen Sommertagen in kleinen Adern und Bächen, oft in wahren Strömen auf dem Gletscher fliesst und durch Spalten und Mühlen in die Tiefe stürzt, hat nach Agassiz⁷¹ Beobachtungen eine etwas über 0 sich haltende Temperatur und wirkt bereits etwas mehr. Den bedeutendsten Antheil an der unterirdischen Zerstörung des Gletschers scheinen aber die zahllosen Adern und Bäche zu tragen, welche von den Thalwänden her und überhaupt aus dem ganzen Gebiete der

⁶⁹ Agassiz, p. 376.

⁷⁰ Bischoff, Wärmelehre. p. 115.

⁷¹ Agassiz Système, p. 206.

Gletscherthäler, mit Temperaturen von 6 und 7°⁷² sich unter den Gletscher versenken. Dazu gesellt sich endlich das Regenwasser, das bei Föhnwetter ein sehr warmes, bei Gewittern ein sehr reichliches sein kann. —

Luftströmungen unter dem Gletscher. — So wie das Wasser sich einen Weg unter dem Gletscher durch gegraben hat, beginnt, als neue Ursache der Abschmelzung, ein eigenthümliches Spiel der Winde. An weiten Hölen, wie es Schlaginweit⁷³ am Marcellgletscher mittelst Pulverrauch beobachtet hat, strömt zunächst über dem Gletscherbach die Luft, von der Bewegung fortgerissen, nach aussen; höher aber nach der Decke hin nimmt sie die entgegengesetzte Richtung. Der untere Strom hatte 2°, während der obere 7°, die äussere Luft 10° hatte. Durch die längeren Canäle, welche ihrer Entstehungsweise nach nothwendig oben und unten mit der äussern Luft in Verbindung stehen, stellt sich die eigenthümliche Erscheinung der Wetterlöcher⁷⁴ ein, wie man sie an alten Schutt- und Trümmerhalden nicht selten beobachtet. Während des Tages nämlich oder überhaupt bei warmer Witterung, da die äussere Luft wärmer ist als die unter dem Gletscher, strömt die letztere als die schwerere zu den untern Oeffnungen heraus, die äussere wärmere und leichtere durch die obern hinein; des Nachts hingegen, so wie bei kalter Witterung, sinkt die äussere Luft unter 0, der Temperatur unter dem Gletscher, und es tritt ein entgegengesetztes Verhalten ein, wobei die Oeffnungen und Risse am Ende des Gletschers saugen, die

⁷² Bischoff, Wärmelehre. p. 114.

⁷³ Schlaginweit, Unters. p. 393.

⁷⁴ Die Erklärung derselben rührt von Pictet (Bibl. univ. XX. p. 278) her. S. darüber namentlich F. Keller, Zürcherisches Neujahrsstück der naturf. Gesellsch. für 1839.

obern blasen. ⁷⁵ Freilich stört die Bewegung des Wassers, namentlich das Herabstürzen desselben in Klüfte und Mühlen, durch eine der Wassertrommel ähnliche Wirkung, die Regelmässigkeit jener Windzüge; nichtsdestoweniger führen sie am Tage eine grosse Menge warmer Luft unter den Gletscher, welcher man vorzugsweise die Erhöhung und Erweiterung der Gletscherhölen zuzuschreiben hat. Nach Schlaginweit ⁷⁶ bezeichnet schon die Oberfläche der Eishölen die Natur ihres Ursprungs; denn die Abschmelzung durch Sonnen- und Wasserwärme bringt die löffelartigen in Kanten zusammenstossenden Ausbuchtungen nicht hervor, die man unter dem Einfluss warmer Winde und des abtropfenden Wassers an Hölen und Spaltwänden des Eises beobachtet.

Die Gletscherhölen. — Von der weiten Erstreckung solcher Hölen unter dem Gletscher giebt die obenerwähnte merkwürdige Rettung des Christ. Bohren ⁷⁷ aus der Tiefe des Grindelwaldgletschers den entscheidendsten Beweis. Schlaginweit ⁷⁸ drang 210 Met. weit unter den Marcellgletscher vor. Hugi ⁷⁹ erforschte unter dem dünnen Urazgletscher am Titlis einen Flächenraum von $\frac{1}{4}$ Quadratstunde und sah den Bauch des Gletschers, mit Ausnahme einzelner mächtiger Füsse, welche die Eislast trugen, sich in flachen Gewölben vom Boden ablösen. Ein Aufrufen des Gletschers auf wenigen Säulen hatte schon Altmann 1751 am Grindelwaldgletscher beobachtet. ⁸⁰

Wie sich die Bäche unter dem Gletscher in einen Haupt-

⁷⁵ Agassiz, Etudes, p. 181, hat diese Vorgänge nicht so richtig aufgefasst wie Bischoff, Wärmelehre. p. 127.

⁷⁶ Schlaginweit, Unters. p. 9.

⁷⁷ Bischoff, Wärmelehre. p. 110.

⁷⁸ Schlaginweit, Unters. p. 151.

⁷⁹ Hugi, Alpenr., p. 261.

⁸⁰ Merian, über die Theorie, p. 10.

abfluss vereinigen, so enden die Zweighölen am Fusse des Endabsturzes meist mit einem einzigen trichterartig sich erweiternden Gewölbe. Die Weite des Gletscherthores entspricht ziemlich der Stärke des Gletscherbaches; wo dieser schwach oder in getheilten Adern abfließt, wie zumal in Gletschern zweiter Ordnung, da löst sich das Eis kaum vom Boden ab; meist aber hat der Eingang 1—4 Met.⁸¹ Höhe, in einzelnen Fällen erreicht er eine ungewöhnliche Höhe, am Marcellgletscher z. B. von 20 Met., am Glacier-des-Bois nach Saussure⁸² bisweilen von 33 Met. Die Wände des Thores zeigen die ausgebildetsten Erosionsflächen und ein wunderbares Farbenspiel aus blaulichem reflektirtem und röthlichem durchgehendem Lichte. Jedes Jahr aber ändert sich das Ansehen der Gletscherhölen durch die Fortschritte der Abschmelzung und die häufigen Einstürze. Engelhard⁸³ erzählt einen Fall, wo der Knall einer Pistole in der Höle des Rhonegletschers die Ablösung der Decke und die Verschüttung zweier jungen Leute zur Folge hatte. Kein Zweifel, dass auch die Hölungen unter dem Gletscher der Schauplatz zahlreicher Senkungen und Einstürze sind, die aber bei der Dicke der Eismasse oberflächlich kaum wahrgenommen werden. Ein merkwürdiges Beispiel bietet der Aletschgletscher⁸⁴ dar, da wo das Wasser des Mörelsees sich unter ihm durcharbeitet. Durch die beständigen Unterfressungen werden nicht blos grosse Eiswände zum Sturze in den See gebracht, sondern bis auf 800 Met. hinaus ist die Oberfläche des Gletschers von 10 und 15 Met. tiefen Einsenkungen und zahlreichen Spalten gequält. Solchen Einstürzen endlich, wenn dadurch der Abfluss des Wassers

⁸¹ Schlaginweit, Unters., p. 149.

⁸² Saussure, Voyages, II. § 620, p. 16.

⁸³ Engelhard, Naturschild., p. 116.

⁸⁴ Schriftl. Mittheilungen von Escher v. d. Linth.

unterbrochen wird, hat man das gewaltsame Hervorbrechen von Wasserstralen aus Spalten des Eises zuzuschreiben, das man am gleichen Aletschgletscher und am Vernagtgletscher im Tirol wiederholt beobachtet hat.⁸⁵

Der Gletscherbach. — Im Gletscherbach sammeln sich zuletzt die sämtlichen Wassermengen des Gletscherthales, die Niederschläge aus der Luft, das Ergebniss der Ablation, die Bäche der Thalwände, endlich der Ertrag der Grundquellen. Nur die letztern fließen beständig und speisen auch im Winter mit ihrem krystallhellen Wasser⁸⁶ den Gletscherbach. Die drei andern Ursachen sind vorzüglich an die warme Jahreszeit gebunden, wobei Regen und Abschmelzung, weil sie gewöhnlich von entgegengesetzten Witterungsverhältnissen abhängen, gewissermassen im umgekehrten Verhältnisse zu einander stehen.⁸⁷ Selbst bei guter Witterung ist es aber nicht erlaubt, den Wasserbetrag des Gletscherbaches als jeweiliges Maass der Ablation des ganzen Gletschers zu betrachten. Denn erstens mischt sich derselben das oft sehr bedeutende Wasserquantum der Thalwände und Seitengletscher bei, und zweitens giebt die Eismasse selbst die aus der Schmelzung entstandene Flüssigkeit nicht sofort ab. Nicht ganz mit Unrecht hat man den von zahllosen Haarspalten durchzogenen Gletscher mit einem Schwamm⁸⁸ verglichen, der eine bedeutende Wassermenge aufsaugen kann, sich aber nur langsam wieder entleert. Aus 4tägigen Beobachtungen, welche Agassiz⁸⁹ Anfangs Sept. 1841 über die Höhe des Wassers, das sich in bedeckten Bohrlöchern sammelt, anstellte, ergab sich im Mittel:

⁸⁵ Desor, Course en hiver. Bibl. univ. T. XXXVIII. p. 385.

⁸⁶ Agassiz, Système, p. 411.

⁸⁷ Agassiz, Système, p. 380.

⁸⁸ Agassiz, Système, p. 354.

⁸⁹ Agassiz, Système, p. 384.

Tiefe 9,75^m, Wasserhöhe am Tage 1,74^m, Nachts 0,23^m
 45^m 6,25^m 1,34^m

Die Filtration dauerte während der Nacht noch fort, stand in Beziehung zur Tiefe des Loches und hing ausserdem von den Witterungsverhältnissen und der Beschaffenheit des Eises ab. Die Wassermenge des Abflusses des Aargletschers wurde 1844 von Dollfus ⁹⁰ für verschiedene Zeiten des Tages und bei verschiedener Witterung aus dem Querschnitt und der Geschwindigkeit gemessen. Sie war Vormittags immer kleiner als Nachmittags, und erreichte ihr Minimum gegen 10 Uhr, ihr Maximum spät Abends, oft erst um Mitternacht. Das Verhältniss der Abflussmenge für drei auf einander folgende Witterungsphasen im August 1844 war das folgende: ⁹¹

Witterung	Wassermenge.	Mittl. Temp.	Ablation.
schön	2000	6,70 ⁰	51 ^{mm}
Schnee	1260	1,95 ⁰	0
Regen	344	4,02	13 ^{mm}

Man sieht, wie der Einfluss der Temperatur denjenigen des Regens weit übertrifft, und wie die Speisung des Baches selbst dann fort dauert, wenn die Ablation aufgehört hat. Vermuthlich geht die Filtration aus dem grossen Wasservorrathe des Gletschers gegen den Winter hin, nachdem die übrigen Nahrungsquellen des Baches versiegt sind, noch längere Zeit mit abnehmender Stärke fort. Die Wassermenge des Gletscherbaches ist also das Produkt verschiedener Ursachen, von denen die einen schnell und stark, die andern verspätet und geschwächt, die einen periodisch, die andern mehr andauernd ihre Wirkung äussern.

Temperatur des Gletscherbaches. — Während das Wasser kleiner Eisvertiefungen und Adern auf dem

⁹⁰ Agassiz, Système, p. 366.

⁹¹ Schlaginweit, Unters., p. 149.

Gletscher nahe gleich 0 ist, so hat der Gletscherbach bei seinem Austritt stets etwas darüber. Bischoff ⁹² fand den Bach des untern Grindelwaldgletschers zu 0,3—0,4⁰, des obern zu 0,6⁰, des Lammerengletschers zu 0,2⁰; Ennemoser beobachtete an 10 Gletschern des Tirols im Mittel 1⁰, am Pferderergletscher sogar 1,7⁰; Agassiz ⁹³ sah die Aar bei ihrem Austritt des Mittags auf 1⁰, die Visp auf 1,5⁰ steigen. Diese Erwärmungen sind eine Wirkung der Bodenwärme und der unter dem Gletscher streichenden Luftzüge. Am Tage weiter fließend erwärmt sich der Bach natürlich bald noch mehr, um so schneller, als er schwächer an Wasser ist. Der schwache Triftbach zeigte folgende Temperaturen ⁹⁴:

Entfernung	200 ^m	500	1000	1500	2000
Temperatur	1,5 ⁰	3	5	6	6,5 - 7

Die Aare ⁹⁵ hingegen stieg weit langsamer: Gletscher 1⁰, Grimsel 2⁰, Handeck 3,5⁰, Guttannen 5⁰, Imgrund 6⁰, Meyringen 7⁰, See 9⁰. Sie bedurfte eines Weges von 7 Stunden, um die Temperatur 6⁰,5 zu erhalten, welche der schwächere Triftbach nach weniger als einer halben Stunde schon hatte.

Farbe des Gletscherwassers. — Das auf dem Gletscher rinnende, von fremden Stoffen freie Wasser hat eine vollkommene Klarheit und theilt, in grösserer Menge gesehen, die bläuliche Azurfarbe ⁹⁶ des blauen Gletschereises. Nach Vergleichen, welche Schlaginweit ⁹⁷ mit Eis von 7 Gletschern vorgenommen, lässt sich diese Farbe

⁹² Bischoff, Wärmelehre, p. 110.

⁹³ Agassiz, Etudes, p. 215.

⁹⁴ Agassiz, Système, p. 39.

⁹⁵ Agassiz, Etudes, p. 216.

⁹⁶ Forbes, Trav., p. 97. — Martins, Compte rendu 1847, Nr. 13, p. 545.

⁹⁷ Schlaginweit, Unters., p. 22. — Poggendorf, Annalen, LXXX. p. 206.

erhalten durch Mischung von 74,9 Kremserweiss, 24,3 Cobaltblau und 0,8 Ocker. Der untere Gletscherbach dagegen, zu der Zeit der Ablation wenigstens, führt eine grosse Menge erdiger Theilchen, aus der Zerreibung der Grundmorainen entstanden, und unterscheidet sich durch seine Trübung ⁹⁸ wesentlich von Quellwasser. Seine Farbe hängt dann ab von der Beschaffenheit der mitgerissenen Theilchen, erscheint schwarz von Schiefer, grau von Kalk, milchig von Quarz und Feldspath, grünlich von organischer Erde. So erklären sich aus dem verschiedenen Ursprung des Gletscherwassers die entgegengesetzten Meinungen, die man über dessen Reinheit und Farbe aussprechen hört.

⁹⁸ Ed. Collomb. *Compte rendu* T. XXIV., p. 1093.

VIII. Die Bewegung des Gletschers.

Die Bewegung des Gletschers, ihre Bedeutung. — Zwischen der Bildung des Gletschers in der Schnee- und Firnregion und seiner Zerstörung in der Region der Vegetation steht als vermittelndes Zwischenglied die Bewegung desselben. Einmal angenommen, warf sie das grösste Licht auf viele sonst unerklärliche Erscheinungen, vor allem auf die vielen Eigenthümlichkeiten der Morainen und der Zerklüftung. Aber je zahlreicher und naturgemässer die Folgerungen sind, welche aus der Annahme einer solchen Fortbewegung der ganzen Eismasse hervorgehen, desto gebieterischer auch drängen sich die Fragen hervor nach dem direkten Nachweise und der Stärke derselben, nach ihrem räthselhaften Mechanismus, endlich nach den unwiderstehlichen Kräften, die in ihr sich offenbaren. Leider bergen diese wichtigsten Fragen auch die schwächsten und dunkelsten Theile unserer gegenwärtigen Kenntnisse, diejenigen Erscheinungen nämlich, deren Auffassung und Darstellung durch verschiedene Beobachter am meisten von hypothetischen Voraussetzungen und subjektiven Meinungen getrübt wurde, wo es daher am schwersten ist, das Wahre vom Falschen, das Thatsächliche vom theoretisch Angenommenen zu trennen. Und doch bedarf es einer solchen Scheidung, soll die Erklärung auf einen festen und sichern Boden gegründet werden.

Messungen der jährlichen Bewegung. — Das Verdienst eines quantitativen Nachweises der Gletscher-

bewegung kömmt Hugi¹ zu. Er hatte 1827 auf der Mittelmoraine des Aargletschers am Fusse des Abschwunges eine Steinhütte erbaut und fand sie 1830 gegen 100 Met. tiefer; 1836 lag sie 714 Met. vom Felsen des Abschwunges entfernt; 1840 nach der Messung von Agassiz 1428 Met., was auf ein sehr rasches Fortrücken hindeutete. Von 1841 an unternahm Agassiz² genauere und umfassendere Messungen auf dem Unteraargletscher, theils an Blöcken, deren Lage jedesmal auf feste Punkte am Ufer zurückgeführt wurde, theils an jenen für die Bestimmung der Ablation benutzten Pfalreihen. Er erhielt

Jahre	mittleres Vorrücken
1841—42 4 Blöcke	jährl. 71 ^m ,30, tägl. 195 ^{mm}
1842—46 14 Blöcke	„ 51 ^m ,31, „ 140
1842—45 ³ 12 Pfäle, erste Linie	„ 63 ^m ,02, „ 173
1842—45 17 Pfäle, zweite Linie	„ 52 ^m ,41, „ 144

Die 14 Blöcke lagen auf ganz verschiedenen Punkten des Gletschers, die Pfäle überspannten den grössten Theil seiner Breite; daher zeigten die einen und andern einzeln sehr abweichende Bewegungen, deren Extreme die folgenden waren:

Maximum	jährlich 77 ^m ,010, täglich 211 ^{mm}
Minimum	„ 5 ^m ,600, „ 15

Der letztere Punkt befand sich indess hinter einem hemmenden Felsvorsprung. Aber auch für den nämlichen Punkt war die Bewegung nicht alle Jahre gleich, wie folgende Beispiele über das mittlere tägliche Vorrücken lehren.

¹ Agassiz, Etudes, p. 148. — Hugi, Alpenr., p. 229.

² Agassiz, Système, p. 436.

³ Agassiz, Système, p. 451.

1842—43, 1843—44, 1844—45, 1845—46

Block der Mittel-				
moraine ⁴	202mm	223mm	180mm	233mm

Pfal des Finster-				
aarzuflusses ⁵	204	203	199	—

id. höher	204	207	165	—
-----------	-----	-----	-----	---

Pfal des Lauter-				
aarzuflusses	178	184	182	—

id. höher	177	187	152	—
-----------	-----	-----	-----	---

Forbes ⁶, der, gleichzeitig mit Agassiz, auf der Mer-de-Glace Messungen unternahm, fand für einen Block (la pierre platte) gegenüber dem Tacul

	1842—43, 1843—44, 1844—46, 1846—50
Mittl. tägl. Be-	
wegung	240mm,9 217mm,6 270mm,6 274mm,6

Mittl. jährl. Be-	
wegung	87m,9 79m,4 98m,7 100m,2

Die umfassendsten Mittelzahlen erhält Forbes aus dem Fort-rücken jenes von einem Führer verlorenen Tornisters ⁷ und der Saussure'schen Leiter ⁸:

1836—1846 Talèfregletscher jährlich	131m,	täglich	359mm
1788—1832 Mer-de-Glace	„	114	„ 321.

Folgerungen. — Die Vergleichung der verschiedenen Zahlen zeigt, dass 1. das Vorrücken von den Jahren abhängt, es war durchgehends am stärksten im Jahre 1845—46,

⁴ Block, Nr. 5. Agassiz, Système, Nr. 440.

⁵ Pfäle Nr. III, Linie AB und CD; der Lauter- und Finster-aarzuflüsse.

⁶ Forbes, XIIIth Letter, Edinb. New phil. Journ. 1847, Apr. p. 137.

⁷ Forbes, XIIIth Letter, p. 145. — XVIth Letter, Ed. n. phil. Journ. 1851, p. 168.

⁸ Forbes, Trav., p. 873.

am schwächsten 1844—45⁹, entsprechend der Wärme und Abschmelzung des Sommers; 2. dass die Bewegung auf verschiedenen Gletschern einem andern Gange folgt; es ist z. B. auffallend, wie die Bewegung 1842—43 auf der Mer-de-Glace viel grösser war als im folgenden Jahre, während auf dem Aargletscher der Unterschied gering ist und zu Gunsten des zweiten Jahres ausfällt; 3. dass endlich die absolute Grösse der Bewegung von einem Gletscher zum andern abweicht; die stärkste Bewegung hat die mächtige Mer-de-Glace, von den beiden Zuflüssen des Aargletschers hat der stärkere Finsteraar- eine grössere Bewegung als der schwächere Lauteraarzufluss. Die stärkste bisher gemessene Bewegung zeigte ein Block auf der Mitte der Mer-de-Glace. Forbes fand vom 30. Juli 1846 bis 13. Juli 1850, freilich in Jahren allgemein starker Bewegung, ein jährliches Vorrücken von 250,8 Met., also im Mittel täglich von 687^{mm},¹!

Einfluss der Wärme. — Man hatte sich früher die Bewegung als eine ruckweise, oder wenigstens mit Zeiten vollkommener Ruhe wechselnde gedacht; die Beobachtungen haben gelehrt, dass sie vielmehr mit einem beständigen, langsamen, wiewohl ungleichförmigen Fliessen zu vergleichen ist, das weder an ebenen noch an zerklüfteten Stellen, weder in der Nacht noch am Tag, weder im Winter¹⁰ noch im Sommer stille steht. Der Alpenbewohner sagt: „der Gletscher wachse wie ein Kraut“¹¹, das heisst allmählig und unbemerkt. Ueber die Bewegung im Winter

⁹ In den Beobachtungen von Forbes verschwindet der grosse Unterschied, weil beide Jahre zusammengefasst sind.

¹⁰ Selbst Agassiz hatte an der Meinung festgehalten, dass die Bewegung im Winter aufhöre. Etudes, p. 175, 212.

¹¹ Escher v. d. Linth, Pogg. Ann. LVI., p. 612.

wurden in dem gleichen Jahre 1842—43 theils von Forbes¹² gegenüber dem Montanvert, theils von Ziegler¹³ an einem Pfale 65 Met. vom Ende des Grindelwaldgletschers Messungen veranstaltet. Sie gaben die folgende tägliche Bewegung:

Mer-de-Glace.		Grindelwaldgletscher.	
Juni 29. — Sept. 28.	442 ^{mm}	Nov. 21. — Dez. 27.	63 ^{mm}
Okt. 20. — Dez. 12.	402	Dez. 27. — Jan. 29.	53
Dez. 12. — Febr. 17.	345	Jan. 29. — März 10.	110
Febr. 17. — Apr. 4.	451	März 10. — Mai 1.	207
Apr. 4. — Juni 8.	412		

Neben dem grossen Unterschiede, den die Mächtigkeit des Gletschers auf die absolute Stärke der Bewegung ausübt, zeigt sich übereinstimmend eine bedeutende Verminderung derselben während der kalten Wintermonate, eine Vermehrung zur Zeit des Frühlings. Am kleinen Grindelwaldgletscher steigt die Bewegung vom Einfachen auf das Dreifache, an der mächtigen Mer-de-Glace nicht auf das Doppelte. Je bedeutender der Gletscher, desto gleichförmiger scheint seine Bewegung vor sich zu gehen. Die vollständigste Beobachtungsreihe wurde 1845—46 von Agassiz¹⁴ auf dem Aargletscher durchgeführt. Die mittlere tägliche Bewegung war:

Juli 21. — Aug. 16.	223 ^{mm}	Febr. 17. — März 3.	231 ^{mm}
Aug. 16. — Sept. 6.	198	März 13. — März 17.	204
Sept. 6. — Sept. 12.	267	März 17. — Apr. 17.	183
Sept. 12. — Sept. 24.	212	Apr. 17. — Mai 30.	374
Sept. 24. — Okt. 23.	194	Mai 30. — Juni 13.	343
Okt. 23. — Dez. 19.	153	Juni 13. — Juni 22.	330
Dez. 19. — Jan. 11.	133	Juni 22. — Juli 6.	222
Jan. 11. — Jan. 19.	256	Juli 6. — Juli 18.	165
Jan. 19. — Febr. 17.	279		

¹² Forbes, Travels, p. 151, 428.

¹³ Agassiz, Système, p. 468.

¹⁴ Agassiz, Système, p. 476.

Trotz den Schwankungen, welche mit den Phasen der Witterung zusammenhängen, tritt auch hier der Gegensatz der Jahreszeiten deutlich hervor, man hat im Mittel tägliche Bewegung Juli 21. — Sept. 23. 208 Millim., Sept. 23. — Jan. 11. 160 Millim., Jan. 11. — Apr. 17. 228 Millim., Apr. 17. — Juni 29. 341 Millim. Das Minimum der Bewegung fällt auf den Winter, das zweimal grössere Maximum dagegen nicht, wie man glauben sollte, auf den Sommer, sondern auf das Frühjahr oder auf die Zeit der starken Schneeschmelze.

Bewegung und Wassermenge. — Der letztere Umstand deutet darauf hin, dass die Wärme nur vermöge des Wassers wirkt, das sie erzeugt und wodurch der durchtränkte und unternässte Gletscher eine grössere Beweglichkeit sowohl in seinen Theilen als im Ganzen erhält. Leider lassen sich nur wenige Beobachtungen der Bewegung und Ablation unmittelbar zusammenstellen. Agassiz erhielt 1845¹⁵ für das Mittel aus 19 Pfälen der ganzen Gletscherbreite

	Tägl. Vorrücken.	Tägl. Ablation.
Juli 21. — Aug. 16.	170 ^{mm}	30 ^{mm} ,4
Aug. 16. — Sept. 6.	169	30 ^{mm} ,3
Sept. 6. — Sept. 12.	206	26 ^{mm} ,1
Sept. 12. — Sept. 24.	118	15 ^{mm} ,0.

Die Bewegung und Ablation sinken, mit einer einzigen Ausnahme, übereinstimmend durch die vier Perioden mit einander, wenn auch in anderem Verhältnisse. Ob aber diese Abhängigkeit bei dem nachhaltigen Einfluss der Durchtränkung schon an einzelnen Tagen oder im Gegensatz von Tag und Nacht sich offenbaren könne, darf wohl bezweifelt werden. Allerdings beobachtete Forbes¹⁶ 1842 bei steigender Wärme folgende Zunahmen der Bewegung:

¹⁵ Agassiz, Système, p. 392 u. 455.

¹⁶ Forbes, Travels, p. 133.

Juni	27 ^o C.	28	29	30
Tägl. Bewegung	386 mm	414	445	442

allein diese Aenderungen sind nicht das Resultat der Schmelzung jedes einzelnen Tages. Agassiz¹⁷ glaubte nach 23tägigen Beobachtungen im August 1842 auf eine Zunahme der Bewegung vom Tage zur Nacht im Verhältniss von 6 : 7 schliessen zu können; spätere Beobachtungen aber machten den gesetzmässigen Einfluss so kurzer Zeiträume wieder zweifelhaft.¹⁸

Bewegung verschiedener Stellen nach der Breite des Gletschers. — Wie von Stelle zu Stelle nach der Breite des Gletschers die Bewegung variirt, wurde von Forbes¹⁹ zuerst bestimmt ausgesprochen. Für verschiedene Stellen vom Rande bis zur Mitte der Mer-de-Glace fand er ein relatives Vorrücken, dasjenige des ersten Punktes 1 gesetzt, von

Entfernung vom Rande	91 m	210 m	279	333
Relative Bewegung	1,000	1,332	1,356	1,367

Die Bewegung nimmt vom Rande zuerst rasch, dann immer langsamer zu, und variirt auf dem mittlern Theile der Gletscherbreite nur wenig. Zu verschiedenen Zeiten war die relative Bewegung des letzten der 4 Punkte die folgende:

Juni 29. — Juli 1.,	Juli 1. — Juli 28.,
1,548	1,489

Juli 28. — Sept. 16.,	Sept. 16. — Sept. 28.,
1,349	1,367

sie nahm also vom Frühling nach dem Herbste hin, wie die Bewegung selbst, ab. Dasselbe Resultat, dass die Variation der Bewegung von Stelle zu Stelle wie der Betrag der Bewegung selbst sich ändert, bestätigte sich ebenfalls, wenn man das Vorrücken höherer und tieferer Stellen nach der

¹⁷ Desor, Compte rendu p. 37. — Agassiz, Syst., p. 491.

¹⁸ Agassiz, Syst., p. 490.

¹⁹ Forbes, Trav., p. 146.

Länge des Gletschers verglich, und erinnert an die Bewegungsgesetze eines Wasserstromes, dessen Randtheile von den Unregelmässigkeiten des Ufers gehindert und gehemmt werden.

Schlaginweit²⁰ erhielt auf der Pasterze im August 1847 in verschiedenen Entfernungen vom Ufer folgende tägliche Bewegungen:

Entfernung	79 ^m	178	203	498	630	786	823
------------	-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Bewegung	61 ^{mm}	135	157	257	215	79	73
----------	------------------	-----	-----	-----	-----	----	----

Noch vollständiger sind die Beobachtungen von Agassiz²¹ 1842. In der Nähe des Pavillon wurden 21 Pfäle gepflanzt, 11 auf dem mächtigen Finsteraar-, 10 auf dem schwächern Lauteraarzufluss. Während dreier Jahre wurde die Lage der Pfäle immer wieder genau aufgenommen; die gerade Linie derselben verwandelte sich in eine thalabwärts convexe Linie, die sich von Jahr zu Jahr stärker krümmte, wie es die folgenden Zahlen für das mittlere tägliche Vorücken zeigen.

	Entfernung von d. Mittelmoraine.	Tägliche Bewegung.		
		1842—43.	1843—44.	1844—45.
Rand.	525 ^m	0 ^{mm}	0 ^{mm}	0 ^{mm}
Lauteraar.	495	14	14	11
	450	55	68	55
	375	107	121	96
	301	148	178	129
	150	178	192	153
Mittelmor.	0	189	208	159
Finsteraar.	180	206	206	167
	450	189	192	151
	564	142	142	109
	690	63	68	44
	780	35	30	32
Rand.	840	0	0	0

²⁰ Schlaginweit, Unters., p. 102.

²¹ Agassiz, Syst., p. 450. Tab. IV. Atlas.

Ausser der bereits erwähnten Zunahme der Bewegung vom Rande nach der Mitte macht sich in diesen Zahlen der Einfluss der Jahre, und zwar in der Mitte regelmässiger als an den von Hindernissen gestörten Rändern, geltend. Das Jahr 1843 — 44 hat die stärkste, dasjenige 1844 — 45 die geringste Bewegung. Dabei zeigt sie sich durchgehends auf dem mächtigern Zufluss des Finsteraar stärker, als auf dem schwächern des Lauteraar, eine Ungleichheit, wie sie auch Forbes²² für die ungleichen Zuflüsse der Mer-de-Glace beobachtet hat.

Seitenbewegung. — Aus den Messungen von Dollfuss und Desor²³ geht hervor, dass nur die mittleren Blöcke und Pfäle genau thalniederwärts gehen, seitwärts namentlich nahe am Rande liegende haben gleichzeitig eine Seitenbewegung. Zwei Randpunkte, der eine höher, der andere tiefer liegend, gaben Ende Juli und Anfangs August 1845 eine mittlere tägliche Bewegung:²⁴

	Longitudinal.	Transversal.
Höherer Punkt	16 ^{mm}	13 ^{mm}
Tieferer Punkt	18	11
So auch erhielt Schlaginweit ²⁵ für zwei Punkte:		
Pasterze	33 ^{mm}	6 ^{mm} ,3
Hintereis	76	2

Es hat in diesen vier Fällen das Eis eine Seitenbewegung, als würde jedes Theilchen einer immer mehr nach aussen sich krümmenden Curve folgen. Möglich jedoch, dass diese Seitenbewegung Stellen angehört, wo der Gletscher sich freier ausbreitet, und dann verschwände, wenn der Gletscher in tieferem, gleichförmigem Bette flosse. Desor's Messungen

²² Forbes, Trav., p. 145.

²³ Agassiz, Syst., p. 441.

²⁴ Desor, Nouv. Excurs. p. 65. — Agassiz, Syst., p. 499.

²⁵ Schlaginweit, Unters., p. 116.

geben überdiess ein verticales Steigen jener beiden Punkte von 6 Millim. und 3 Millim., das vermuthlich nur als eine lokale Wirkung der durch den Druck nach aussen bewirkten Emporschiebung des äussersten Gletscherrandes gedeutet werden muss.

Bewegung verschiedener Punkte der Länge.

— Ueber die gleichzeitige Bewegung verschiedener Stellen nach der Länge des Gletschers geben vorerst Beobachtungen Aufschluss, welche Agassiz²⁶ an einer Reihe von Blöcken der Mittelmorainen 1842—46 anstellte. Diese Blöcke, von der Firnregion bis zum Ende des Gletschers ziemlich gleichmässig vertheilt, gaben, in gleicher Ordnung, das folgende Vorrücken:

Jährl. Bewegung.	Tägl. Bewegung.	Dauer der Bewegung in Jahren.
38 ^m ,16	105 ^{mm}	132
74,36	197	122
77,01	211	112
67,58	185	94
70,70	194	77
56,47	155	58
38,66	106	23
29 52	81	—

Die letzte Columne enthält die Zahl der Jahre, welche die einzelnen Blöcke nach der Berechnung von Agassiz nöthig haben, um die Stelle des letzten zu erreichen. Oben langsamer, wächst die Bewegung bis zu einem gewissen Punkte, wo Agassiz die grösste Eisdicke vermuthet, und nimmt von da niederwärts ab. Die Abnahme der Bewegung nach unten hin bestätigte sich aus dem täglichen Vorrücken der auf drei Stationen aufgestellten Pfalreihen²⁷:

²⁶ Agassiz, Syst., p. 439, 447.

²⁷ Agassiz, Syst., p. 455.

Entfernung vom Ende	3800 ^m	1800	800
Tägliche Bewegung	222 ^{mm}	171	88

diejenige nach oben aus der Beobachtung dreier Blöcke²⁸, die sich auf den noch unvereinigten Zuflüssen des Finsteraar und der Strahlegg befanden und, nach mehrjähriger Bedeckung mit Schnee, folgende Bewegung erlitten hatten:

Block.	Oberster.	Mittlerer.	Unterster.
Jährliche Bewegung	33 ^m	47	73
Tägliche Bewegung	95 ^{mm}	131	200

Nachdem auch der Rhonegletscher²⁹ für zwei Punkte, die über und unter dem Gletscherbruch 1000 Met. aus einander lagen, tägliche Bewegungen von 265 Millim. und 199 Millim. dargeboten hatte, betrachtete Agassiz die beidseitige Abnahme der Geschwindigkeit von einem Maximum in dem mittlern Theile der Gletscherlänge als allgemeines Gesetz. Diesem Resultate aber widersprechen die Messungen von Forbes³⁰ auf vier, freilich mehr am Rande liegenden Punkten des Desboisgletschers. Der erste lag auf dem höhern Lechaudzufluss, der letzte in der Gegend des Montanvert. Die relative Bewegung war

0,674 0,479 0,770 1,000

Oben ist die Bewegung zwar kleiner als unten am Gletscher, am kleinsten aber in dem mittlern Theile. Aehnliche Abweichungen erkannte später Schlaginweit³¹ zwischen dem Verhalten des Hintereis- und Pasterzengletschers. Der erstere gab für einen obern und untern Punkt Bewegungen, die sich verhielten wie 1,58 : 1; der zweite auf drei folgerweise tieferliegenden Stellen solche von 0,32, von 0,55 und 1,

²⁸ Agassiz, Syst., p. 442.

²⁹ Agassiz, Syst., p. 444.

³⁰ Forbes, Trav., p. 144.

³¹ Schlaginweit, Unters., p. 114.

dort also eine Abnahme, hier eine Zunahme der Geschwindigkeit nach unten. Es folgt hieraus, dass jeder Gletscher sein eigenes Verhalten hat, abhängig von der Beschaffenheit seines Bettes, und diess erklärt sich nach dem allgemeinen mechanischen Grundsatz, dass in einer stetig und gleichmässig abfliessenden Masse die Geschwindigkeit an jeder Stelle sich umgekehrt verhält wie der Querschnitt.

Die Bewegung in verschiedener Tiefe. —

Die Abnahme der Bewegung von der Mitte nach dem Rande durch den verzögernden Einfluss der Ufer liess eine ähnliche Abnahme mit der Tiefe gegen den Grund des Gletschers vermuthen. Indem die oberen Theile schneller vorrücken als die tiefern, sollte eine anfangs verticale Spalte allmählig ihre Stellung ändern und oben thalabwärts neigen. Diese natürliche Folgerung aus der Ungleichheit der Bewegung ist bisher der Prüfung entgangen, theils weil die für genaue Messungen zugänglichen Tiefen im Vergleich mit der Dicke der Eismasse und der Entfernung des Grundes zu klein sind, um auf wahrnehmbare Unterschiede zu führen³², theils weil die Abschmelzung und der Wasserabfluss an der Beschaffenheit der Spaltwände Veränderungen hervorbringen, die grösser sind als die zu messenden Unterschiede der Bewegung. Forbes³³ hat jedoch an dem Endabfalle des Desboisgletschers das Vorrücken dreier in verschiedener Höhe liegenden Punkte gemessen und gefunden:

Höhe über dem Grunde	43 ^m ,61	16 ^m ,47	2 ^m ,44
Neigung des Abfalles	10 ⁰ ,1	8 ⁰ ,3	5 ⁰
Relative Bewegung	1,62	1,46	1

welche Zahlen jene Folgerung unterstützen. Noch entschiedener ist die Bestätigung, welche Dollfuss und Martins³⁴

³² Forbes, Trav., p. 370.

³³ Forbes, Xth Letter. N. Edinb. phil. J. 1846. Oct. p. 417.

³⁴ Compte rendu de l'Acad. 1846. T. XXIII. p. 825. — Agassiz, Syst., p. 522.

an dem 12 Met. hohen Endabsturze des kleinen Grünberggletschers erhalten haben. Von zwei Stäben, deren einer 1^m,05, der andere 8^m,22 von der Oberfläche in die Eiswand eingesenkt und darin befestigt waren, zeigte der obere über den untern nach einer Zeit von 18 Tagen (Aug. 13. bis 31. 1846) einen Vorsprung von 200 Millim. oder eine tägliche Mehrbewegung von 11 Millim. Hiernach begreift es sich, dass in Höhen, wo kleinere Gletscher zweiter Ordnung fest mit ihrer Unterlage verwachsen bleiben, in Folge der Bewegung ihrer obern Schichten regelmässige Eisstürze statthaben können.

Bewegung secundärer Gletscher. — Ueber die Bewegungserscheinungen kleinerer Nebengletscher haben namentlich Agassiz und Desor³⁵ Thatsachen gesammelt. Ungleichheiten der Längenbewegung ergaben sich aus der Beobachtung von 3 Pfälen auf den folgenden Gletschern.³⁶ Die tägliche Bewegung war

	Oben.	Mitte.	Unten.
Grünberggl. Juli 18. bis Sept. 9. 1845	54 mm	46 mm	43 mm
Triftgl. Aug. 23. bis Sept. 5. 1844	23	47	55

Beide Gletscher haben ein entgegengesetztes Verhalten, der erste unten, der zweite oben die schwächere Bewegung, was Agassiz daraus erklärt, dass jener, der in den Hauptgletscher mündet, vom Eise desselben unten gestaut wird, während dieser, an der heissen Thalseite liegend, höher mit freiem Ende aufhört. — Auf die Bewegung verschiedener Punkte nach der Breite beziehen sich die folgenden Angaben³⁷ der täglichen Bewegung:

	Seite.	Mitte.	Seite.
Silberberggl. Aug. 14. bis Sept. 4. 1844	38 mm	42 mm	22 mm
Triftgletscher Juli 25. bis Sept. 10. 1845	69	77	65

³⁵ Desor, Nouv. Excursions.

³⁶ Agassiz, Syst., p. 507. 510.

³⁷ Agassiz, Syst., p. 506. 513.

Auch hier, wie an grossen Gletschern, bewegt sich die Mitte schneller als die Ränder, doch sind die Abweichungen verschiedener Punkte geringer.

Bewegung von Schnee- und Firmassen. —

Selbst noch an abhängigen Firn- und Schneemassen zeigt sich eine stetige Bewegung. Desor³⁸ erhielt an einer vom Escherhorn herabsteigenden Kehle von Firnschnee folgende tägliche Bewegungen:

	Oben.	Mitte.	Unten.
Aug. 19. bis Sept. 4. 1844. Bewegung	36 mm	14	7
Neigung	43°	40°	29

Die Bewegung varriert hier noch mehr als an eigentlichen Gletschern, was wohl mit den sehr ungleichen Dimensionen der Kehlen und der Unterstützung ihrer Schneemasse durch das Eis des Hauptgletschers in Verbindung steht. Schlaginweit³⁹ führt endlich Beispiele des stetigen Vorrückens hoher Schneefelder an. Am Rothenkögel bewegte sich ein solches im Herbst 1847 täglich um 5 Millim., an der Benediktenwand im Frühjahr 1848 auf einem Abhang von 21° um 9 Millim., was wohl als Gränze langsamer, nicht zu Lawinen sich beschleunigender Schneebewegungen betrachtet werden darf.

Einfluss der Masse. — Wenn aber, nach diesen Thatsachen, die Bedingungen und Gesetze der Bewegung an Nebengletschern und selbst an Schneekehlen die nämlichen sind, wie an grössern Gletschern, so besteht doch hinsichtlich der Grösse der Bewegung ein sehr auffallender Unterschied. Früher wurde bereits auf die Verschiedenheit des winterlichen Fortschreitens des Grindelwald- und Desboisgletschers aufmerksam gemacht. Noch

³⁸ Agassiz, Syst., p. 516.

³⁹ Schlaginweit, Unters., p. 120.

grössere Abweichungen zeigen die kleinen Nebengletscher. Nach Agassiz und Desor⁴⁰ hat man:

	Neigung.	Tägl. Beweg.
Grünberggl.	30—31° Juli 18. — Sept. 9. 1845	35 mm
Silberberggl.	Aug. 14. — Sept. 4. 1844	42
Zuckerstockgl.	30—50 Juli 19. — Aug. 15. 1845	58
Triftgletscher	20—25 Juli 25. — Sept. 10. 1845	77
Hint. Triftgl.	25 Aug. 23. — Sept. 5. 1844	42

An dem grossen Aargletscher und der Mer-de-Glace stieg gleichzeitig die tägliche Bewegung, trotz der geringen Neigung von wenigen Graden, auf 200 und 300 Millim. Es beweist die von Agassiz⁴¹ gegebene Zusammenstellung:

	Dicke.	Neigung.	Mittl. tägl. Beweg.
Grünberggletscher	25 ^m	30°	56 mm
Aargletscher	380	3	210

dass die 15 Mal grössere Dicke den Einfluss der 10 Mal stärkern Neigung weit übertrifft und dass die Mächtigkeit des Gletschers einer der wichtigsten Faktoren seiner Bewegung ist.

Folgerungen. — Fasst man alle Ergebnisse der Beobachtung über die Bewegung zusammen, so findet man darin mit Forbes die Erscheinungen und Eigenthümlichkeiten wieder, welche die Strombewegung charakterisiren. Wie bei stetig fliessendem Wasser hängt nämlich die Geschwindigkeit von drei Dingen ab, von der Neigung des Gletscherbettes, dem Querschnitte der Eismasse und den Hindernissen des Bodens und der Wände des Bettes; sie wächst mit den beiden ersten und nimmt ab mit der letzten Grösse. Von verschiedenen Stellen auf der Längserstreckung des gleichen Gletschers hat diejenige die grösste Geschwin-

⁴⁰ Agassiz, Syst., p. 506—522.

⁴¹ Agassiz, Syst., p. 527.

digkeit, an welcher das Bett enger und steiler ist, und umgekehrt verlangsamt sich die Bewegung, wo der Gletscher sich ausbreitet und verflacht, namentlich also in seiner kuchenartigen Endigung. Bei verschiedenen Gletschern von nahe gleichem Falle erscheint sie dann grösser, wenn die Eismasse eine bedeutendere Mächtigkeit hat und in regelmässiger Bette fliesst. Alle diese Bewegungserscheinungen sind übrigens eine unmittelbare Folge der einfachen Thatsache, dass die verschiedenen Punkte der Eismasse im Grossen ihre gegenseitigen Stellungen und Entfernungen verändern können und daher keineswegs eine starrverbundene, sondern eine in ihren (grössern oder kleinern) Theilen etwas verschiebbare Masse darstellen, auf welche Annahme schon andere Erscheinungen geführt hatten. Freilich handelt es sich hier um eine Beweglichkeit, die unendlich viel kleiner als die des Wassers ist. Ein mächtiger Wasserstrom, von der Höhe und Breite des Aargletschers, würde bei gleicher Neigung eine Geschwindigkeit von 190—200 Met. in der Sekunde gewinnen⁴², während diejenige des Gletschers nur 200 Millim. für 24 Stunden oder 8—10 Millionen Mal weniger beträgt. Die Vergleichung selbst mit den zähflüssigsten Substanzen bleibt insofern eine höchst unvollkommene.

Die Verschiebung des ganzen Gletschers. — Ausser dem langsamen Fliessen hat der Gletscher, wie das Dasein der gestreiften Felsen des ganzen Gletscherbettes beweist, noch eine Bewegung in seinem Bette selbst, eine gewaltsame Verschiebung, bei welcher die zwischen Fels und Eis eingeklemmten oder von letzterem erfassten Trümmer mitgerissen werden. Ueber die Art wie diese Verschiebung vor sich geht, ob langsam und gleichförmig oder ruck- und stossweise, ob auf verschiedenen stützenden Punkten

⁴² Die Breite zu 1400 Met., die Tiefe zu 300 Met., die Neigung zu 4° angenommen. Siehe auch Forbes, Trav., p. 367.

zugleich oder zu verschiedenen Zeiten, was bei der Dicke und Elasticität des Eises oberflächlich nicht erkannt würde, ist bis jetzt nichts ermittelt. Messungen über das Vorrücken einzelner Gletscherfüsse auf ihrer Felsunterlage unter dem Gletscher anzustellen, ist gewiss mit Schwierigkeiten verbunden, doch scheint bisher auch kein Versuch dazu gemacht worden zu sein. Wenn es aber auch an bestimmten Beobachtungen über die Bewegung fehlt, so verträgt sich doch die auf mehrere Fuss steigende Länge mancher Felsfurchen, die gleichmässige Tiefe und constante Richtung derselben, eher mit einem stetigen regelmässigen Fortschreiten, als mit einem unregelmässigen ruckweisen Gange. Jedenfalls muss ein Theil der Gesamtbewegung des Gletschers auf die Verschiebung der ganzen Masse in ihrem Bette gerechnet werden.

IX. Die Struktur des Gletschers.

Vorbemerkung. — Wie jedes Gestein im Kleinen ein Korn, im Grossen eine bestimmte Schichtung oder Absonderung zeigt, so besitzt auch das Gletschereis, ausser der von den Haarspalten bedingten Zertheilung, eine durch die ganze Masse greifende, von allgemeineren Ursachen vorgeschriebene Struktur. Obgleich lange unerkannt, erscheinen gegenwärtig die Verhältnisse der Struktur, seitdem man sie im Zusammenhang aufgefasst und über die ganze Erstreckung des Gletschers verfolgt hat, als eine der eigenthümlichsten Erscheinungen, die um so mehr eine genaue Beachtung verdient, als sie nothwendig mit dem Mechanismus der ganzen Bewegung in enger Beziehung stehen muss. Leider aber beruht die Gesamtauffassung dieser Verhältnisse auf der Zusammenstellung vieler beschränkten Beobachtungen aus allen Gegenden des Gletschers, wobei gar leicht subjektive Ansichten die Reinheit des objektiv Gegebenen trüben. Wir wollen dennoch suchen, so weit es überhaupt möglich ist, das bestimmt Erwiesene von dem mehr Hypothetischen, den festen Grund von dem darauf errichteten Gebäude aus einander zu halten, um dann auch zur Beurtheilung des letztern einen freieren Standpunkt zu gewinnen.

Schichtung des Firnes. — In der Region des Firnes erkennt man allenthalben, wo das Innere der Masse durch Klüfte oder Abstürze aufgeschlossen ist, eine regelmässige waagrechte oder schwachgeneigte Schichtung aus verschiedenen Firnlagern, die nach der Tiefe mehr und mehr in Firneis übergehen, indem sie dichter und fester

werden. Schon die ältern Beobachter, wie z. B. Saussure ¹, beschreiben diese Struktur. Man zählt wohl bis 60 und mehr solcher Schichten über einander ², mit einer Dicke von 2 bis 3 Met., deren Trennung durch Staub, seltener durch Sand oder Steinchen, gewöhnlich hingegen durch eine Vereisung der Firnkörnchen, aus einer Zeit, da die Schicht oberflächlich lag, bezeichnet wird. Wo nach der Firngränze hin die Trennungsflächen an der Oberfläche des Gletschers ausgehen, bilden sie gerade oder thalabwärts gebogene Querzonen, die je nach der Neigung der Oberfläche auf grossen Gletschern wohl 100 Met. und mehr aus einander stehen. Diese Zonen, indem längs derselben das Schmelzwasser der obern Schicht von der vereisten Oberfläche der untern zu Tage geleitet wird, zeichnen sich im Sommer durch ihre Erweichung und Durchtränkung aus ³. Alle Physiker sind einverstanden, die wenig geneigte regelmässige Schichtung des Firnes den jährlichen Schneefällen zuzuschreiben ⁴ und die dünnern undeutlichen Unterabtheilungen einer Hauptschicht dem Ertrag und dem Wechsel einzelner Witterungsperioden. Ihre Dicke entspricht in der That vollständig dieser Annahme.

Entdeckung der inneren Struktur. — Betrachtet man hinwieder von aussen das Ende des eigentlichen Gletschers, namentlich eines solchen, der sich ungehindert ausbreitet, wie der Rhone-, der Trient-, der Arollagletscher ⁵, so erkennt man auch wieder in dem ausgebildeten

¹ Saussure, Voy. T. IV., p. 205, § 2015.

² Agassiz, Système, p. 259. — Desor, Bibl. univ. Nov. 1841, T. XXXVI, p. 120. — Desor, Compte rendu. Bibl. univ. Mars 1843, p. 33.

³ Agassiz, Système, p. 277.

⁴ Saussure, Voy. Vol. I, p. 453, § 534. — Forbes, Trav., p. 31.

⁵ Forbes, Trav., p. 248, 282. — Ed. New phil. Journ. Jan. 1842.

vorherrschend blauen Eise eine ringsherum sichtbare nahe horizontale Streifung, die durch alle Einschnitte und selbst durch die Klippen und Piramiden der Gletscherbrüche fortsetzt. Man ist natürlich geneigt, sie als letzten Ueberrest mit der ursprünglichen Schichtung des Firnes in Verbindung zu setzen; allein diese naheliegende Vorstellung ermangelt der Evidenz, weil dem zwischenliegenden stundenlangen eigentlichen Gletscher die horizontale Absonderung abgeht, derselbe vielmehr eine zur vertikalen hinneigende Struktur einschliesst, auf welche zuerst Guyot ⁶ (1838) aufmerksam wurde. Er bemerkte nämlich auf dem Griesgletscher weite Strecken, die von parallelen 3—6 Centimet. breiten Furchen, ähnlich Wagengeleisen, überdeckt waren; die Furchen oder Rinnen hatten ein weisses schneeiges, die Zwischenrücken ein dichtes bläuliches Ansehen. Bis an eine Spalte verfolgt, erwiesen sie sich nicht als ein oberflächliches Phänomen, sondern als das Ausgehende zahlloser, bis in die grösste sichtbare Tiefe steil einschliessender Eisbänder, von denen die einen aus weissem blasigem, die andern aus dichterem oder mit Wasser durchtränktem Eise bestanden. Die ungleiche Zerstörbarkeit beider hatte die oberflächliche Furchung veranlasst. Bald darauf unternahmen (1841—42) Forbes und Agassiz ⁷ die weitere Verfolgung der merkwürdigen Erscheinung und gelangten auf folgende von Schlaginweit an den Tiroler Gletschern gleichfalls bestätigte Resultate.

Schmutzzonen. — Wenn man aus einer gewissen Höhe und bei günstiger Morgen- oder Abendbeleuchtung

⁶ Guyot, Bull. de la soc. géol. de Fr. Sept. 1838. — Desor, Compte rendu Bibl. univ. Mars 1843, p. 24. — Agassiz, Syst., p. 207.

⁷ Dem Prioritätsstreit dieser beiden Gelehrten über die Entdeckung der Bandstruktur wurde durch das Bekanntwerden der ältern Guyot'schen Beobachtung glücklich ein Ende gemacht.

den Verlauf eines grössern Gletschers überschaut, so bemerkt man regelmässig abstehende dunklere Zonen, welche als abwärtsgekrümmte Spitzbogen über den Gletscher hin und mit ihren Schenkeln in die Ränder verlaufen. Es sind diess die *Zones d'affleurement* oder *Chevrons* von Agassiz⁸, die *Ecailles* von Martins⁹, die *Ogiven* von Schlaginweit¹⁰. Auf dem mittleren Theile der Mer-de-Glace zählte Forbes¹¹ deren 18, in beinahe konstanten Entfernungen von 216 Met., auf dem Ferpêclegletscher¹² sogar 30 auf einen Blick. In der Nähe untersucht, bestehen sie aus einem mehr als anderwärts entwickelten Wechsel blauer und weisser Eisbänder. Der Schatten der hervortretenden kleinen Rücken bei schiefer Beleuchtung, so wie die Ansammlung von Staub und Sand in den lockerern vertieften Furchen machen sie aus der Ferne sichtbar und erklären die von Forbes¹³ gebrauchte Bezeichnung von Schmutzzonen (*dirt bands*). — Bei kalter und trockner Witterung sind die einzelnen Bänder oberflächlich meist wenig kenntlich, weil das verschiedene Ansehen des blasigen und wasserhaltenden Eises verschwindet; bei Schmelzwetter oder in Wasserrinnen treten sie dagegen oft aufs schärfste hervor und lassen sich weithin verfolgen. Man sieht sie dann in verschiedener Dicke von wenigen bis auf 50 Centimet. auf das mannigfachste wechseln, die blauen mit Wasser getränkten oft mit einer Durchsichtigkeit, dass der Blick mehrere Fuss tief in das Eis eindringt¹⁴. Man trifft wohl auch auf Stellen, wo die Bänder

⁸ Agassiz, *Système*, p. 211—215.

⁹ Martins, *Bull. de la soc. géol. de Fr. 2e Sér. II*, p. 244.

¹⁰ Schlaginweit, *Unters.*, p. 83.

¹¹ Forbes, *Travels*, p. 165.

¹² Forbes, *Travels*, p. 294.

¹³ Forbes, *Travels*, p. 163.

¹⁴ Desor, *Report. Ed. n. phil. Journ. Oct. 1843*, p. 296.

ihren regelmässigen Verlauf verlieren und sich zu den sonderbarsten Biegungen und Faltungen verwirren¹⁵, wie eine Masse Tuch oder Papierblätter unter heftigem Seitendruck es zeigen könnte.

Später erkannte Forbes¹⁶ auf der Mer-de-Glace, dass bisweilen flache Anschwellungen der Gletscherfläche den Schmutzzonen folgen, indem leichter Schnee vom Winde in den Zwischenräumen abgelagert wird, dass also der Längendurchschnitt der Oberfläche eine abfallende sanfte Wellenlinie darstelle. Er erklärt diese Erscheinung als eine Folge der winterlichen Anhäufungen an der Firngränze, die als terrassenartige Massenvermehrung in den Gletscher übergehen und ohne die beständige Ablation vermuthlich als regelmässige Eigenschaft die Zonen begleiten würden. Die Vergleichung mit den bogigen Runzeln eines dicken Schlammstromes scheint dagegen wenig passend, da die letztern gewöhnlich aus dem einfachen Zusammenschieben einer festern Decke auf eine kleinere Länge hervorgehen, also nicht von einer Massenvermehrung herrühren. Dieser Erscheinung geschieht von keinem andern Beobachter Erwähnung.

Gestaltänderung der Ogiven. — Die Gestalt oder Krümmung der Ogiven ändert sich im Verlaufe des Gletschers¹⁷. Nahe der Firngränze haben die Ogiven eine mehr transversale, wenig gekrümmte Richtung und sind gewöhnlich weder scharf noch regelmässig entwickelt. Auf dem mittleren Theil der Gletscherlänge, wo sie am deutlichsten sich

¹⁵ Escher v. d. L., Ed. n. phil. Journ. Oct. 1846, p. 345. — Schlaginweit, Unters., p. 772. — Forbes, Trav., p. 164.

¹⁶ Forbes, Travels, p. 408. — Vth Letter, Ed. n. phil. Journ. Apr. 1844, p. 230. — XIIth Letter, ibid. 1847, p. 148.

¹⁷ Agassiz, Système, p. 213, 225. — Schlaginweit, Unters., p. 85.

darstellen, verlängern sie sich mehr und mehr zu einer langen Parabel, offenbar in Folge der in der Mitte schnellern Eisbewegung. Während der frontale Theil des Bogens sich ausspitzt, die Schenkel sich seitwärts mehr verlängern, treten entsprechend die Ogivenzonen in der Mitte mehr aus einander, an den Seiten näher zusammen.

Wenn mehrere Zuflüsse den Gletscher zusammensetzen, wie es Agassiz¹⁸ vom Aar-, Schlaginweit¹⁹ vom Vernagt-gletscher beschreibt, so hat anfangs wenigstens jeder sein eignes Ogivensystem und die benachbarten Systeme vereinigen sich mit ihren Schenkeln unter der Zwischenmoraine, wo der Gegensatz des vorherrschend dichten und des zurücktretenden weissen Eises besonders scharf erscheint. Im weiteren Verlaufe jedoch überholen und absorbiren allmählig die Ogiven der mächtign Zuflüsse vermöge ihrer schnellern Bewegung diejenigen der schwächern. Letztere bilden nur noch untergeordnete Zacken an den Curven der erstern und lösen sich zuletzt vollständig in dieselben auf. So z. B. erklärt sich, dass der Aargletscher²⁰ in der Gegend des Abschwunges Spuren von 12 Ogivensystemen erkennen lässt, während beim Pavillon, 3500 Met. weiter, ihre Zahl auf 5 zusammensinkt und gegen das Ende, wo überhaupt die Struktur wegen der grössern Gleichartigkeit des Eises zurücktritt, auf ein einziges System. — Auch an Nebengletschern, welche ihr Eis von der Seite einem Hauptgletscher zuführen, bemerkt man nach Umbiegung ihrer Ogiven in die Richtung des Hauptgletschers²¹ die stetige Umwandlung der Curven, die Verschiebung ihres Scheitels nach der Hauptmasse des Eises hin, das endliche Vorherrschen einer ein-

¹⁸ Agassiz, Système, p. 214 u. s. f.

¹⁹ Schlaginweit, Unters., p. 83.

²⁰ Agassiz, Plan des Aargl. Atlas Tab. III.

²¹ Forbes, Travels, p. 182. — Agassiz, Système, p. 227.

zigen vom Rande nach der Zwischenmoraine schief absteigenden Zonenrichtung. — Alle diese Modifikationen der Ogivengestalt erklären sich befriedigend aus zwei Ursachen, aus der ungleichen Geschwindigkeit der Mittel- und Randstellen, und aus der nur langsam zu Stande kommenden Verbindung der individuellen Bewegungen der einzelnen Zuflüsse in eine einzige Hauptbewegung.

Innerer Verlauf der Bandstruktur. — Der ununterbrochene Verlauf der verschiedenartigen Eisbänder durch das Innere des Gletschers ist weit schwieriger zu ermitteln. Man muss ihn aus Beobachtungen an einzelnen Klüften und Spalten zusammensetzen, deren Wände oft, zumal bei Schmelzwetter, von zahllosen blauen und weissen Bändern in unregelmässigem Wechsel überdeckt erscheinen. Leider reicht das Auge nicht weit in die Tiefe und bleibt gewöhnlich auf den oberflächlichen ausgehenden Theil der Bänder angewiesen; so weit jedoch Agassiz²² in eine wasserleere Mühle hinabstieg (36 Met.), erkannte er den Gegensatz des weissen und blauen Eises und einen bandartigen Wechsel beider. An Gletscherstürzen zeigen Stücke aus dem innersten Eise oft eine entschiedene Neigung, sich in Tafeln und Blätter zu trennen, die ähnlichen Ursprunges sein mögen.

In der Nähe des Firnes senken sich die unvollkommen ausgebildeten, oft unterbrochenen, oft auslaufenden transversalen Bänder nahe vertikal in die Tiefe, so dass man bisweilen jüngere Firn- und Schneelagen auf den Köpfen der vertikalen Strukturschichten horizontal aufliegen sieht²³. Nach Schlaginweit²⁴ soll nach der Tiefe die Zahl der blauen

²² Agassiz, *Compte rendu*, Bibl. univ. Mars 1843, p. 27.

²³ Forbes, *Travels*, p. 346. — Schlaginweit, *Unters.*, p. 88.

²⁴ Schlaginweit, *Unters.*, p. 77.

oder wasserhaltenden Bänder durch eine folgeweise Vereinigung mehrerer kleineren sich vermindern, das Eis weniger Wechsel darbieten. — Weiter unten am Gletscher erhalten die innern Strukturschichten eine weitfortsetzende doppelte Krümmung und bilden als Ganzes aufgefasst auf einander folgende Schalen mit doppelter Krümmung, deren frontaler Theil mit dem Vordertheile eines Löffels oder eines Kahnes Aehnlichkeit hat. Doch darf man nicht vergessen, dass nur die ausgehenden Ränder, nicht aber die durch die Tiefe setzende Concavität der schalförmigen Schichten der Beobachtung zugänglich ist. Nach der Breite des Gletschers nimmt, wenigstens auf einfachen Gletschern, die Neigung der in der Mitte vertikalen Schichten nach beiden Seiten ab und legt sich an die Wände des Eisbettes an ²⁵; bei zusammengesetzten Gletschern hält sie sich unter den Zwischenmorainen zweier Zuflüsse, deren jeder sein eignes Struktursystem besitzt, nahe vertikal oder stellt sich gemäss der Ueberwucht des mächtigern Zuflusses. — Im Längenprofil des Gletschers dagegen ²⁶ nimmt die Frontalneigung von der Firngränze, wo sie, wie gesagt, nahe vertikal steht, in Folge der stärkern Bewegung des obern Eises allmählig ab, legt sich nach vorn hin und nähert sich gegen das Ende dem Horizontalen. So sieht man auf dem Aargletscher ²⁷ die Strukturschichten unfern des Abschwunges mit 90° einschliessen, während sie am Endabfall nur noch mit $10\text{--}15^{\circ}$ nach dem Innern einfallen. — Im Allgemeinen also verräth der Querschnitt eine von der Mitte nach den Seiten abnehmende steile Longitudinalstruktur, der mittlere Längsschnitt hingegen

²⁵ Agassiz, Système, p. 252. — Forbes, Travels, p. 374.

²⁶ Agassiz, Système, p. 247. — Forbes, VIIth Letter, Ed. n. phil. Journ. Oct. 1846, p. 144.

²⁷ Agassiz, Système, p. 248.

ein von der Firngränze nach dem Ende an Neigung abnehmende frontale Transversalstruktur ²⁸.

Modifikationen der Struktur. — Inzwischen ändern sich diese Verhältnisse sehr mit der Beschaffenheit des Gletschers und der Stelle seines Verlaufes, welche man ins Auge fasst. In Gletscherverengungen richtet sich die Struktur wie durch Zusammenfaltung auf, in Erweiterungen legt sie sich mehr aus einander, an Thalbiegungen drängt sie sich oft vielfach gequält gegen die eine, verflacht sich nach der andern Seite, an freien Enden, wie z. B. der Rhonegletscher und der Arollegletscher es so schön darstellen ²⁹, öffnet sie sich flach aus einander, an steilen und sekundären Gletschern endlich schmiegt sie sich mehr oder weniger parallel an die Böschung des Abhanges ³⁰.

Ansicht von Agassiz. — Wiewohl über die Umgestaltung der Struktur unter dem Einfluss der Gletscherbewegung kein Zweifel besteht, so bleibt dennoch die Entstehung derselben einer der dunkelsten Punkte der Gletschertheorie. Agassiz ³¹ betrachtet sie als die Fortsetzung der horizontalen Jahresschichtung des obern Firnes, die sich in Folge einer ungleichartigen Vereisung durch die ganze Länge des Gletschers erhalte. Die oberflächlichen Ogivenzonen sollen ziemlich der Entfernung entsprechen, in welcher 2—3 Met. dicke Schichten an der geneigten Fläche zu Tage gehen. Der bezeichnende Schmutz wäre der bei der Ablation sich abscheidende Anflug von Unreinigkeiten, welcher die Jahrestrennungen bezeichnet, und soll sich als Linien von Staub- und Sandtheilen an Spaltwänden bis-

²⁸ Man sehe bei Forbes Trav. p. 372, 403, und Schlaginweit Unters. p. 79 die verschiedenen Durchschnitte der Gletscherzunge.

²⁹ Forbes, Trav., p. 29, 283, 389. — Agassiz, Système, p. 237.

³⁰ Forbes, Travels, p. 372.

³¹ Agassiz, Système, p. 256 u. f.

weilen tief in den Gletscher verfolgen lassen ³². — Die schwache Seite dieser sich so natürlich darbietenden Theorie liegt in der Schwierigkeit, die horizontale Schichtung des obern Firnes in eine vertikale an der Firngränze umzuwandeln, denn es ist dazu die von Agassiz wirklich zugegebene ³³ Annahme erforderlich, dass in den höhern Regionen die tiefere innere Firnmasse sich schneller bewege als die obere äussere, was gegen die Bewegungsgesetze stetiger Strömung in Flussbetten streitet ³⁴. Unterhalb der Firngränze würden die Geschwindigkeitsverhältnisse sich umändern und die aufgerichtete Schichtung wegen der grössern Geschwindigkeit der Oberfläche sich wieder vorwärts neigen. Die letztere Stellungsänderung ist thatsächlich erwiesen, für die erstere entgegengesetzte in der obern Firnregion sucht man bei allen Schriftstellern vergeblich nach einer unterstützenden Beobachtung. Allerdings, wenn die geschichtete Masse aus der weiten Mulde, wo sie entstanden, in das engere Gletscherthal herabgedrängt wird, oder wenn mehrere Zuflüsse in Ein Bette sich eindrängen, muss eine grosse Faltung der Schichtblätter entstehen; allein ein in der Mitte vertikales, nach beiden Seiten flacheres Einfallen der Blätter erklärt sich dadurch nicht, und noch weniger die transversale Richtung der Bänder in der Nähe der Firngränze. — Darum haben später Agassiz und Martins ³⁵ die zugleich vertikalen und transversalen Bänder jener Gegend als eine von der Schichtung verschiedene Erscheinung, nämlich als vertikale Filtrationswege des Wassers betrachtet, welche weder die Gesetzmässigkeit, noch die Ausdehnung, noch

³² Agassiz, *Système*, p. 258, 261.

³³ Agassiz, *Système*, p. 271.

³⁴ Forbes *Travels*, p. 380.

³⁵ Agassiz, *Système*, p. 224, 289. — Martins, *Bull. de la soc. géol. de Fr. T. II. p. 344.*

den Bestand der Jahresschichtung haben, ihr aber bei steilerer Stellung allerdings folgen, in andern Fällen hingegen dieselbe durchsetzen.

Ansicht von Forbes. — Ueber die Gleichzeitigkeit zweier Strukturarten in der Gegend der Firngränze scheint gegenwärtig kein Zweifel,³⁶ seit sie von Forbes und Schlaginweit wiederholt beobachtet wurde. Allein beide Gelehrten weichen darin von Agassiz ab, dass sie die ursprüngliche Jahresschichtung durch die Vereisung und die anhaltende innere Arbeit sich auslöschen lassen³⁷ und im eigentlichen Gletscher die zweite Struktur als die fortbestehende zu Ogiven sich umwandelnde betrachten, während Agassiz bis ans Ende die erstere für die durchgreifende, die zweite für eine mehr zufällige hält. Nach Forbes ist die Bandstruktur kein einfaches Filtrationsphänomen, hervorgebracht durch die Schwere und den Zusammenhang des durchsickernden Wassers, sondern die Flüssigkeit wählt bestimmte Wege, weil das Eis nach bestimmten Flächen eine von viel allgemeineren Ursachen herrührende feine Zerspaltung und Lockerung zeigt, die das Eindringen gestattet. Die Ursache der zahllosen kleinen Risse ist aber die Bewegung der Gletscher selbst.³⁸ Wegen der Hindernisse des Bettes und der Ungleichartigkeit des Kornes verschiebt sich der Gletscher nicht als starre Masse, sondern vermöge einer geringen Verschiebbarkeit seiner Theile, von den Wänden und dem Grunde des Bettes nach der Mitte mit zunehmender Geschwindigkeit. Nach den Flächen hin, wo die relative Verschiebung benachbarter Theile am grössten wird, zerreist die Masse unter hörbarem Knistern in zahl-

³⁶ Forbes, Vth Letter, N. Ed. ph. J. 1844. Apr. 220. — Desor, N. Ed. ph. J. 1843. Octob. p. 304.

³⁷ Forbes, Travels, p. 31.

³⁸ Forbes, Curves of differential velocity. Travels, p. 377.

lose unregelmässige kleine Sprünge, welche die Veranlassung der blauen Bänder werden. Im Grossen aufgefasst entwickelt sich eine Struktur aus in einander liegenden, löffelförmigen Schalen, von denen jede innere sich in der äussern langsam verschiebt.

Das Experimentum crucis von Forbes. —

Wir werden später, wenn von den Bewegungsursachen der Gletscher überhaupt die Rede ist, auf diese Ansicht von Forbes, welche, befriedigend erwiesen, eine der merkwürdigsten Anwendungen der Cohäsionsmechanik auf ein grosses Naturphänomen darstellen würde, zurückkommen und einige weitere Folgerungen aus derselben erörtern. Hingegen gehört eine Beobachtung hieher, welche Forbes³⁹ als Experimentum crucis für die Entstehung der Bandstruktur durch relative Verschiebung der Theilchen anführt. An einer Stelle des Brenvagletscher nämlich drängt sich das Eis an einer vorspringenden Felsecke vorbei, durch welche ein Theil desselben bedeutend gehemmt wird. Das tägliche Fortschreiten in dem ungehinderten Eise wurde gleich 359 Millim., dasjenige des gehinderten, 52 Met. seitwärts, gleich 124 Millim., in der dem Felsvorsprung vorliegenden Bucht sogar gleich 0 gefunden. Auf der Eisfläche zwischen diesen beiden Eismassen war von der Felsecke einige 30 Met. aufwärts, anderswo aber nicht, eine auffallend schöne Bandstruktur entwickelt, die sich nur aus der gegenseitigen Verschiebung der gehemmten und nicht gehemmten Eismassen erklären liess. Leider steht diese Beobachtung vereinzelt da.

Strukturbänder in regnerirten Gletschern.

— Eine merkwürdige Thatsache, die nicht allein von Forbes behauptet, sondern von Desor zugegeben wird, ist die

³⁹ Forbes, XIIth Letter, Ed. n. ph. J. Apr. 1847, p. 99.

Entwicklung von Zonen und Ogiven in der Eismasse unten an Gletscherbrüchen und selbst in regenerirten Gletschern. So beobachtet man nach dem Sturze des Talèfregletschers, ⁴⁰ nachdem die Trümmer sich als regelmässiger Zufluss des Léchaudgletschers verbunden haben, schon nach einigen 40 Met. wieder eine deutliche Zonenbildung; so am Rhône-gletscher ⁴¹ unterhalb seines mächtigen Bruches; so endlich an dem aus lauter herabgestürzten Trümmern gebildeten parasitischen kleinen Brenvagletscher. ⁴² Und auch in diesen Fällen soll die Struktur anfangs mehr transversal und steileinfallend, später erst ogiven- und löffelförmig sich gestalten. Die Agassiz'sche Ansicht kann in Fällen, wo eine Erhaltung der Schichtung undenkbar ist, von der Neubildung von Zonen keine andere Erklärung geben, als dass auch die durch Brüche und Stürze gehäuften Massen, bei der grossen Ungleichheit der Bewegung im Sommer und Winter, nach Jahresanhäufungen sich sondern und dadurch wieder eine Schichtung erzeugen.

Die Ansicht von Schlaginweit. — Wie die ursprünglich angenommene Jahresschichtung von Agassiz, so scheint auch die Schalverschiebung von Forbes zur Erklärung der transversalen und verticalen Bänder der Firngränze ungenügend zu sein; man sieht wirklich nicht ein, wie nach diesen Richtungen relative Bewegungen entstehen können. Aus diesem Grunde vermuthlich sucht Schlaginweit, ⁴³ so weit sein Gedanke klar erkannt wird, eine gewisse Versöhnung beider Ansichten. Oberhalb und an der Firngränze beginnt die stärkere Bewegung wie durch Zug und dadurch erhält die noch nicht ganz ausge-

⁴⁰ Forbes, Travels, p. 169.

⁴¹ Desor, n. Ed. ph. J. 1843. Octob., p. 304.

⁴² Forbes, Travels, p. 201.

⁴³ Schlaginweit, Untersuch., p. 87.

bildete Masse eine Tendenz sich nach transversalen und verticalen Richtungen zu lockern und zu lösen.⁴⁴ Diese Richtungen werden Filtrationswege des Schmelzwassers, die, einmal gewählt, fortbestehen, sich in Folge der ungleichen Bewegung löffelförmig krümmen und ihrerseits wieder bedeutend zur Erleichterung der Gesamtbewegung beitragen. Die stärkere Entwicklung der Bandstruktur auf gleich entfernten Zonen wäre dann Folge der jährlichen periodischen Wiederkehr starker Bewegung und Durchtränkung des Sommers, im Gegensatz zum Winter. Es wäre auch nach dieser Ansicht die Struktur des eigentlichen Gletschers kein Ueberrest der Firnschichtung, sondern eine an der Firngränze entwickelte und von der Bewegung weiter umgewandelte Erscheinung.

⁴⁴ Schlaginweit glaubt im Kleinen die Entstehung von Linien im gelockerten Eis ohne grössere Spalten an einer gebogenen Eisdecke beobachtet zu haben. Untersuch., p. 87.

X. Die Ursachen der Bewegung.

Bedeutung der Gletscherbewegung. — In den frühern Abschnitten wurde ein Bild des Gletschers, seiner Eigenthümlichkeiten und wichtigen Erscheinungen gegeben, so vollständig als die bisherigen Beobachtungen und der Standpunkt der Wissenschaft es gestatteten. Es erschien die Entstehung und das Fortbestehen des Gletschers als eine nothwendige Folge klimaterischer und orographischer Verhältnisse und der Gletscher selbst als das merkwürdige Mittel, dessen sich die Natur bedient, um die festen Niederschläge hoher Regionen mit Hülfe der Wärme der tiefern zur Auflösung zu bringen. Die ganze Wirksamkeit dieses Mittels beruhte aber einzig und allein auf der unaufhalt-samen langsamen Bewegung des Gletschers und mit ihr stand die ganze Reihe der übrigen Erscheinungen, die Abschmelzung, die Gestaltung, die Trümmeranordnung, die Zerklüftung, endlich die Struktur des Gletschers in dem innigsten Zusammenhang. So erscheint denn die Bewegung als der Angelpunkt der ganzen Gletschertheorie und die Ursache derselben als das Räthsel, an welchem die Geduld und der Scharfsinn der Physiker sich vorzüglich übten, von welchem alle andern Fragen, als abhängig oder untergeordnet, ihre Lösung erwarteten. Es wird daher an der Zeit sein, nun auch einen Blick auf dieses dunklere Gebiet zu werfen, um die Stärke und Schwäche der versuchten Hypothesen nach dem Maassstabe der Thatsachen zu prüfen. Missglückte Theorieen sind in der Wissenschaft nicht immer ein unnützer Ballast, sondern sie bezeichnen häufig bestimmte

Stufen der Erkenntniss, welche nur vermöge einer neuen Entdeckung, eines neuen Fortschrittes überwunden wurden.

Die Saussure'sche Theorie des Gleitens. —

Die erste Thatsache, das Herabsteigen des Gletschers aus der Firnregion stets nach der Tiefe, weist auf die Schwere als auf eine Hauptursache der Bewegung. Schon Altmann und Gruner (1760)¹ hatten diesen Einfluss angenommen, wie ihn später Saussure (1779)², dem die Kenntniss der Alpenwelt so unendlich vieles verdankt, mit voller Bestimmtheit und Klarheit ausgedrückt hat. „Beinahe alle Gletscher“, sagt er, „sowohl erster als zweiter Ordnung, ruhen auf „einem geneigten Boden und alle etwas bedeutenden haben, „selbst im Winter, unter sich eine Wasserströmung, die „zwischen dem Eise und dem dasselbe tragenden Boden „fliesst. — Man begreift so, dass diese Eismassen, von „der Neigung des Bodens, auf denen sie ruhen, fortgezogen, „abgelöst durch das Wasser von jeder allfälligen Verbin- „dung mit dem Grunde, bisweilen sogar durch dasselbe „gehoben, nach und nach gleiten und längs dem Abhange „der Thäler oder damit überdeckten Joche herabsteigen „müssen. — Dieses langsame, aber beständige Gleiten ist „es, welches die Eismassen in die niedern Gegenden herab- „führt und in Thälern bestehend erhält, wo grosse Bäume „und selbst reiche Ernten gedeihen können.“

Beurtheilung derselben. — Dass der Gletscher massenhaft sich verschiebt, beweist die früher erläuterte beständige Furchung der Wände und des Grundes seines Bettes, allein als alleinige Bewegungsart ein massen-

¹ Altmann, Versuch einer hist. u. phys. Beschr. d. helv. Eisgeb. 1751, p. 45. — Gruner, die Eisgeb. d. Schweizerl. 1760, Vol. 3, p. 135, 156. — B. F. Kuhn, Versuch über den Mechanismus der Gletscher. Höpfner, Magazin 1787, I., p. 119.

² Saussure, Voy., Vol. 1, p. 454, § 535.

haftes Gleiten durch die Schwere anzunehmen, genügt den Beobachtungen nicht. Gegen eine so ausschliessliche Auffassung, wie sie übrigens schwerlich in der Meinung Saussure's lag, haben Charpentier³ und nach ihm Agassiz⁴ und Forbes⁵ als Gegengrund vorgebracht: 1. dass jedes Gleiten, weil die Reibung aus dem Zustande der Ruhe grösser ist als bei der Bewegung, wie man es an Lawinen und Schneeschlipfen beobachtet, ein beschleunigtes oder wenigstens ruckweises sein müsse, wovon man, einige Fälle steiler Thalstufen abgerechnet, nichts bemerke; 2. dass ein rauhes unregelmässiges Bett wie das eines Gletschers selbst bei 8° und mehr kein Gleiten gestatte, während man an grossen Gletschern noch bei 3° und weniger ein starkes Fortschreiten beobachte; 3. dass endlich keine nothwendige Beziehung zwischen Bewegung und Neigung beobachtet werde, indem noch bei 30 und 40° kleine Gletscher zweiter Ordnung am Boden festhalten, ohne massenhaft zu gleiten. — Diese Gründe, den Bewegungs- und Reibungsgesetzen fester und trockener Körper entlehnt, verlieren aber ihr Gewicht bei Anwendung auf eine Eismasse, deren Berührungsfläche in steter langsamer Schmelzung begriffen ist. Direkte Versuche, welche Hopkins⁶ mit Eisblöcken auf geneigten Steinplatten anstellte, ergaben selbst bei den schwächsten Neigungen (von 40 Min. nur) ein, wenn auch mit der Neigung abnehmendes Gleiten, das keineswegs ruckweise, sondern bei Neigungen unter 20° regelmässig und stetig vor sich ging, und um so stärker erschien als Temperatur und Druck bedeutender waren. Man begreift

³ Charpentier, Essai, p. 31 u. f.

⁴ Agassiz, Système, p. 564.

⁵ Forbes, Ed. Revue. 1842, April, — Trav. p. 362.

⁶ Hopkins, Phil. Mag. 1845, XXVI. p. 321. — Agassiz, Syst. p. 524.

auch, dass bei der steten Erweichung der stützenden Eistheilchen, sei es durch Schmelzung, sei es aus blosser Durchfeuchtung, der Einfluss der Reibung ein ganz anderer werden und der unausgesetzten Wirkung der Schwere einen grössern Spielraum lassen wird. Die Resultate dieser Versuche stimmen merkwürdig mit dem überein, was früher über die Beziehung der Bewegung zu der Menge der Abschmelzung und Durchfeuchtung, und anderseits zu der Mächtigkeit der Gletscher gesagt worden ist. Daraus erklärt sich, dass die neuern Physiker, nachdem sie vorübergehend einer andern Theorie gehuldigt, doch wieder dem Gleiten durch die Schwere eine bedeutende Rolle eingeräumt haben, wenn auch nicht ganz in der ursprünglichen Weise, da das Gleiten einer starren Masse die zahllosen Beweise einer Umgestaltung und relativen Bewegung der Theile unberücksichtigt lässt, auch keine Erklärung für die Bewegung hochliegender secundärer Gletscher, die an ihrer Basis festgefroren sind, zu geben weiss. Vor allem hat Merian die gegen das Gleiten erhobenen Einwendungen mit Glück widerlegt.⁷

Die Dilatationstheorie. — Weit früher schon als Gruner und Saussure hatte Scheuchzer,⁸ der unermüdliche Erforscher des Schweizerlandes,¹⁷ folgende merkwürdige Ansicht über die bewegende Ursache der Gletscher ausgesprochen: „Es muss das vom Rücken der vereisten Berge „und Felsen abfliessende Wasser, wenn es in den Sprüngen „und Lücken des Eises sich sammelt und darin gefriert, „weil es in diesem Zustande einen grössern Raum einnimmt, „nach allen Seiten drängen und denjenigen Gletschertheil, „der nach der freien Luft und nach abschüssigen Wänden

⁷ Merian, über die Theorie der Gletscher, 1841. — Leonh. u. Bronn, Taschenb. 1843.

⁸ Scheuchzer, Itinera alpina, 1723, IV. p. 287.

„blickt, vorwärts stossen, und mit dem Eise zugleich Sand, „Steine und selbst grössere Blöcke, — wodurch sich zugleich jene ausnehmende Reinigung (des Eises) leicht erklären und begreifen lässt.“ Vermuthlich ohne Kenntniss dieser lange vergessen gebliebenen Ansicht war Touss. v. Charpentier,⁹ in einem an originellen Ideen überhaupt reichen Aufsätze, auf die fast unwiderstehliche Gewalt der Eisausdehnung als auf die aus einander treibende und bewegende Kraft der Gletscher verfallen. Da er aber, unbekannt mit dem Dasein der Haarspalten und mit der allgemeinen Filtration des Gletschereises, nur die grösseren Spalten im Auge hatte und in ihnen das Wasser gefrierend annahm, verlor seine Theorie bald ihre Stütze,¹⁰ denn die eigentlichen Spalten sind in der Regel nicht mit Wasser angefüllt, und noch seltener schliessen sie sich durch Bildung von Wassereis, sondern meist nur durch ein von der Gestaltung des Grundes vorgeschriebenes Zusammenrücken ihrer Wände. Wie ferner das Festfrieren einzelner Spalten die Erzeugung eben so grosser neuer und ein stetiges Fortrücken veranlassen könne, lässt sich vollends nicht einsehen.

Hingegen scheint Biselx,¹¹ in Mitte der Gletscherwelt lebend, den Gedanken einer allgemeinen Durchtränkung und Durchfrierung des Gletschers so aufgefasst zu haben, wie ihn später Joh. v. Charpentier¹² mit praktischer Klarheit und Agassiz¹³ mit geistreicher Gewandtheit weiter durchführten. Charpentier drückt sich so aus: „Wenn das „vom Gletscher aufgesogene und von den Sprüngen und

⁹ T. d. Charpentier, Gilb. Ann. Vol. LXIII., p. 388.

¹⁰ Escher (Vater), Gilb. Ann., Vol. LXIX., p. 113.

¹¹ Biselx, Gilb. Ann. LXIV., p. 183.

¹² Charpentier, Essai, § 11, p. 22.

¹³ Agassiz, Etudes, p. 200—211.

„Haarspalten durch sein ganzes Inneres verbreitete Wasser „gefriert, so vermehrt es sein Volumen und theilt der „ganzen Masse eine Art von Expansion mit. Diese Dilatation „muss vorzüglich nach der Richtung des geringsten Wider- „standes sich äussern, also im Sinne des Gefälles und der „Dicke des Gletschers. — Da das Gefrieren des absor- „birten Wassers im Sommer fast jede Nacht sich wieder- „holt, und in dieser Jahreszeit kein Rückzug, keine Con- „traction durch die Kälte entstehen kann, so wäre die „Wirkung der auf einander folgenden und so oft wieder- „holten Expansionen unbegrenzt, würden ihr nicht Sonne „und Luftwärme durch Schmelzung des Eises an der Ober- „fläche eine Grenze setzen.“ So lange es an genauern Bestimmungen über die Ablation und die Grösse der Bewegung an verschiedenen Stellen fehlte, schien die Theorie der Dilatation, auf die richtige Thatsache der Durchtränkung des Eises gegründet, von manchen Erscheinungen, wie die Aufblähung des Gletschers, das Verschieben seiner Ränder, das Ausstossen fremder Körper u. s. f. mit Leichtigkeit Rechenschaft zu geben und erwarb sich daher vielfache Anerkennung. Eine strengere Prüfung, wie sie zuerst Merian¹⁴ angestellt, führt dennoch aber auf unübersteigliche Schwierigkeiten, von denen die wichtigsten hier eine Stelle finden müssen:

Schwierigkeiten derselben. — 1. Nimmt man den ganzen Gletscher von Wasser durchtränkt und gefrierend an, so kann die Volumenvermehrung beim Erstarren doch nur $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{9}$ des Volumens der gefrierenden Haarspalten betragen. Im Ganzen können daher die neuen durch die Ausdehnung erzeugten Haarspalten auch nur $\frac{1}{9}$ des Volumens der frühern halten und so müsste, nach einigen Malen, die weitere Veränderung unmerklich klein, mit andern

¹⁴ Merian, über die Theorie etc., p. 13.

Worten der Gletscher zu einer dichten Masse werden, nimmt man nicht ganz andere fremde Ursachen zur Erzeugung der Haarspalten zu Hülfe.

2. Jede Moleculärausdehnung, erfolge sie nun durch Wärme, oder Absorption einer Flüssigkeit, oder ein inneres Gefrieren, wirkt nach allen Seiten, bei einer allseits freien Masse von der Gegend ihres Schwerpunktes als von einem festen Punkt aus; bei einer einerseits festgehaltenen nach den Seiten freier Bewegung. Die Verschiebung an einer Stelle ist absolut gemessen um so grösser, je entfernter sie von dem festen Punkte abliegt, und je kleinere Hindernisse auf dieser, je grösser auf andern Richtungen sich entgegensetzen. Betrachtet man die Gegend der Firngränze als festen Stützpunkt der Gletscherzunge, so sollte, die Ueberwindung der Reibung zugegeben, von da bis zum Ende das Vorrücken wachsen,¹⁵ während die Beobachtung ein je nach dem Gletscher und seinem Bette ganz verschiedenes Verhalten zeigt. Trägt man ferner der ungeheuern Reibung nach der Länge des Gletschers Rechnung, so müsste im Vergleich mit der Longitudinalbewegung eine Ausdehnung nach oben sich zeigen, die alle Wirkungen der Ablation ungemein überstiege.¹⁶

Temperatur im Innern des Gletschers. —

3. Das tägliche Gefrieren des Wassers im Gletscher setzt eine tägliche, wenn auch kleine Veränderung seiner innern Temperatur voraus, während bei der schlechten Leitung des Eises selbst bedeutende Kälteveränderungen einzelner Tage, wie bei Gelegenheit der Haarspalten erläutert worden, höchstens auf 2 Met. oder 3 Met. eindringen können.¹⁷ Gewichtige Gründe gegen eine tägliche Vereisung im

¹⁵ Forbes, Travels, p. 36.

¹⁶ Forbes, Travels, p. 36, 357.

¹⁷ Agassiz, Système, p. 423. — Schlaginweit, Unters. p. 15.

Innern des Gletschers hatte schon Saussure ¹⁸ vorgebracht. Das Abnehmen der Filtration und des Wasserabflusses des Gletschers während der Nacht ist nicht eine Folge des Gefrierens des aufgesogenen Wassers, sondern des Aufhörens der oberflächlichen Schmelzung und der theilweisen Entleerung der Haarspalten. Agassiz, der früher, Dank einiger nicht genau verglichenen Instrumente, ¹⁹ den Gletscher beständig um 0,30 bis 0,40 unter Null gefunden und darauf wichtige Folgerungen gegründet hatte, überzeugte sich 1842 durch genaue Versuche in Bohrlöchern, ²⁰ dass bei vollständiger Abschliessung schon in 2 bis 5 Met. Tiefe die täglichen Schwankungen ganz verschwinden und die Temperatur so gut als bei 30 und 60 Met. genau constant auf 0° bleibt, — ein Resultat, das nach physikalischen Gesetzen vorauszusehen und von Merian, ²¹ Hopkins ²² und Ladame ²³ vorausgesagt worden war. Nach diesen Thatsachen muss auf jeden Einfluss des Gefrierens bei der Gesamtbewegung des Gletschers verzichtet werden, abgesehen davon, dass die Erklärung auf das bestimmt erwiesene Fortschreiten im Winter, wo die Durchtränkung fehlt, ohnehin keine Anwendung fände.

Auftreibung im Frühjahr. — Eine tiefer eingreifende Erkältung lässt sich selbst von mehreren Kälte-
tagen nicht (Forbes ²⁴ fand noch nach mehrtägigem Gefrorensein der Oberfläche das Eis wenige Fuss tiefer von Wasser nass), einzig und allein aber von der Wirkung

¹⁸ Saussure, Voy. 1. § 528, p. 446.

¹⁹ Agassiz, Etudes, p. 200.

²⁰ Agassiz, Système, p. 419.

²¹ Merian, Leonh. Taschenb. 1843. — Ueber die Theorie etc. p. 15.

²² Hopkins, Phil. Mag. 1845.

²³ Ladame, Bull. de la Soc. de Neuch. 1844, p. 45.

²⁴ Forbes, Bibl. univ. XLII. p. 363.

des langen Alpenwinters erwarten; doch auch sie wird durch die Gegenwart einer mächtigen Schneedecke, die als schützendes Kleid wirkt, bedeutend gemildert. Es fehlt leider an Beobachtungen, um die von Hopkins nach Analogie mit andern schlechtleitenden Substanzen angenommene Tiefe von 12—15 Met. bestimmt zu rechtfertigen. Die Agassiz'schen Versuche ²⁵ mit Registerthermometern, die über Winter im Eise versenkt blieben, missglückten; nur Ein Instrument konnte im Sommer 1844 unversehrt aus einer Tiefe von 2 Met. gehoben werden und gab als grösste Kälte zweier Winter (1842—44) mehr nicht als $-2,1^{\circ}$. Für den Winter 1841—42 war in 7,5 Met. Tiefe als Maximum der Kälte $-0,3^{\circ}$ gefunden worden. ²⁶ Im Frühjahr also, wenn die Abschmelzung und Durchtränkung wieder beginnt, spielt allerdings der Gletscher bis auf eine gewisse, nicht sehr grosse Tiefe die Rolle eines Kältemagazins, ²⁷ das auf Unkosten der frei werdenden Wärme des gefrierenden Wassers schnell wieder auf 0° gelangt.

Diese Ursache scheint bei der Erneuerung und Auftreibung, welche der im Herbst tief angegriffene und scheinbar zusammengesunkene Gletscher im Frühjahr zeigt, vorzüglich wirksam. Wenigstens scheint zur Erklärung derselben das Vorrücken des Gletschers im Winter, wodurch die höhere dickere Masse an tiefere Stellen gelangt, nicht zu genügen. Es findet z. B. Agassiz ²⁸ am Aargletscher (beim Hôtel neuchâtelois), wenn man die Neigung der Eisfläche zu $4^{\circ}/_{0}$, diejenige der Thalsole zu $3^{\circ}/_{0}$ annimmt, eine Abnahme der Eisdecke von 1 Met. auf 100 Met. Diess gäbe

²⁵ Agassiz, *Système*, p. 425.

²⁶ E. de Beaumont, *Ann. d. sciences géol. de Fr.* 1842. — Ed. n. ph. J. 1843. April, p. 115. — Desor, Ed. n. ph. J. 1844, p. 163.

²⁷ Agassiz, *Compte rendu XV.* p. 736. In seinem *Système* wiederholt er auffallender Weise diese Beobachtung nicht.

²⁸ Agassiz, *Système*, p. 560.

für ein winterliches Vorrücken von 40 Met. eine Erhöhung von 0,40 Met. Die Beobachtung ergab als Mittel zweier Querlinien von je 12 Pfälen für den Winter 1842—43 eine viel grössere Erhebung von 2,10 Met. und 1,76 Met. Immerhin bleibt man im Zweifel, ob nicht ein Theil der beobachteten Auftreibung auf Rechnung des Vorrückens des Gletschers in engere oder gestörtere Stellen des Bettes gebracht werden müsse.²⁹

Hugi's Theorie. — Hugi,³⁰ dem, trotz mancher sonderbarer Behauptungen, eine lange Bekanntschaft mit den Gletschern nicht abgesprochen werden kann, drückt sich folgendermaassen aus: „Die Bewegung und alle wesentlichen „äussern Erscheinungen sind bedingt durch die Entwicklung der einzelnen Körner in der Gesamtmasse, welche „von den Firnkuppen an bis zum Ausgange langer Gletscher „sich von der Linsen- bis oft fast zur Eigrösse entwickeln.“ An einer innern Ausbildung des Gletschers ist nicht zu zweifeln; eine wirkliche Massenvermehrung des innern Eises aber lässt sich, nach dem früher über die Temperatur Gesagten, allgemeiner nur in der Firnregion, im Gletscher aber nur während einer sehr beschränkten Zeit erwarten. Es ist dabei gleichgültig, ob man die Kornvergrösserung einem Gefrieren des Filtrationswassers oder mit Hugi's unklaren Worten einem atmosphärischen und hygroskopischen Durchdringungsprozess oder einem hygroskopischen Ausgleichungsakte von Schicht zu Schicht³¹ zuschreiben wolle. Vereisung und Bewegung, statt der Zeit nach übereinzustimmen, fallen grossentheils auf abweichende Epochen und die erste Erscheinung kann daher wohl die Begleiterin, nicht aber die Ursache der

²⁹ Schlaginweit, Untersuch., p. 157.

³⁰ Hugi, die Gletscher, p. 10.

³¹ Hugi, die Gletscher, p. 71.

letzten sein. Möglich sogar, dass das Verhältniss sich umkehrt, und die Bewegung Mitursache der Umstellung und damit der Entwicklung der Körner ist ³².

Die Theorien der Plastizität. — Wenn einerseits die Theorie des Gleitens ein zu ausschliessliches Gewicht auf die reine Wirkung der Schwere legte, die Dilatationstheorie sie umgekehrt beseitigte, um dem selbstständigen Spiele der Molecularkräfte die Bewegung beizumessen, so suchte eine dritte Reihe von Theorien gewissermaassen eine Vermittlung, indem sie von der so vielfach erwiesenen, wiewohl geringen Stellungsänderung der Theilchen ausgeht und sich den Gletscher als eine zusammenhängende, schwer bewegliche, durch Wirkung der Schwere herabgezogene Masse denkt. Es sind diess die Theorien der Plastizität und Semifluidität.

Als ersten Versuch dieser Art kann die bizarre Idee Godefroi's ³³ (1840), dass der Gletscher sich durch ein Wälzen (*par enroulement*) fortbewege, bezeichnet werden. Offenbar stützt sich Godefroi hierbei auf die ganz richtige Thatsache, dass jede beginnende Strömung, mag nun Wasser, Schlamm, Lava oder geschmolzenes Metall im Spiele sein, an ihrem vorrückenden frontalen Theile ein Wälzen zeigt, indem in Folge der Bewegungshindernisse am Boden die obern ungehinderten Theile vorn herabsteigen, um sich ihrerseits an den Boden zu schmiegen. Er lässt dabei aber zweierlei unbeachtet: 1. dass einzig das frontale Ende einem Wälzen, die zurückliegende Masse aber einem wahren Fliessen nach den Gesetzen der Ströme

³² Die Meinung von Katterfeld (Isis 1819, p. 1299), dass der in Klüften gefangene Wasserdampf den Gletscher in Bewegung setze, verdient kaum eine Widerlegung, da die Spannkraft des Dampfes bei 0° 4,6 Millimet. Quecksilber nicht übersteigt.

³³ Godefroi, Notice sur les glaciers. Paris 1840.

gehorche, daher im Gletscher, wo der frontale Theil stets durch Abschmelzung entfernt wird, nur die Erscheinung des Fliessens sich zeigen kann; 2. dass in dem Maasse, wie die Adhäsion am Grunde sich vermindert und der Zusammenhang der Masse zunimmt, das Wälzen und Fliessen zugleich einem massenhaften Gleiten Raum geben müssen, wie man es eben an Gletschern wahrnimmt.

Ansichten von Rendu. — Vorsichtiger drückt sich Bischoff Rendu ³⁴ (1840) in seiner *Théorie des Glaciers* aus. „Es gibt eine Menge von Thatsachen“, sagt er als Resultat seiner vorurtheilsfreien Untersuchungen, „welche „die Meinung unterstützen, es müsse der Substanz des „Gletschers eine gewisse Ductilität zukommen, die ihr „gestattet, sich an die Lokalität, in der sie sich befindet, „anzuschmiegen, sich zu verdünnen, zusammenzuziehen und „auszudehnen, wie eine weiche Teigmasse es zeigt. Und „doch, wenn man den Hammer auf ein Eisstück wirken lässt, „findet man eine Sprödigkeit, die damit in direktem Wider- „spruch zu stehen scheint.“ Anderswo heisst es: „Es wäre „möglich, dass das Eis seiner Härte und Sprödigkeit un- „geachtet nur einen bestimmten Druck ohne zu brechen „auszuhalten vermöchte. Das Eis der tiefsten Schicht ist „von der ganzen Last der überliegenden Masse gedrückt; „übersteigt aber diese Last die Cohäsionskraft, so er- „folgt Zerdrückung und ein Auseinanderweichen im Eise „der Basis.“ Es scheint demnach Rendu die Vorstellung einer durch Druck bewirkten Zermalmung der Masse in Brocken und eines Auseinandergehens durch Zusammen- sinken (*tassement*) der Theile im Auge zu haben, eine Vorstellung, von der man sich später vielleicht zu sehr entfernt hat.

³⁴ Rendu, Theorie 1040. p. 48, 52.

Die Theorie der Plastizität von Forbes. —

Dem Grundgedanken einer in ihren einzelnen Theilchen beweglichen, von der Schwere herabgezogenen Gesamtmasse hat aber Niemand den scharfen Ausdruck und die vollständige Geltung gegeben wie Forbes ³⁵ (1843) in seinem klassischen Reisewerk. Selbst Agassiz ³⁶ (1847) musste diesen Gedanken anerkennen und er steht noch heute unangefochten da. Allein über den nähern Vorgang der Bewegung, die Richtung der inneren Kräfte, die Natur der Beweglichkeit der Theilchen, kurz das Detail des Mechanismus weichen die Meinungen noch vielfach aus einander.

Theorie von Hopkins. — Hopkins ³⁷ (1845) denkt sich den Gletscher nach seiner Länge gleichsam in vertikale Blätter zertheilt, deren mittlere am schnellsten, die seitlichen nach dem Rande hin immer langsamer fortrücken. Diese Vorstellungsweise erscheint aber als eine rein künstliche ³⁸, denn 1. lässt sich kein Grund angeben, nur den neben einander, nicht eben so gut den über einander liegenden Theilchen eine relative Bewegung beizumessen; 2. steht eine ausschliesslich vertikale Longitudinalstruktur im Widerspruch mit dem mehr transversalen und horizontalen Verlauf der Bänder an den Ogiven und an dem Ende des Gletschers. Eine nach allen Richtungen mögliche Beweglichkeit, da sich offenbarend, wo die aus dem Druck oder Zug des Eises und aus den Hindernissen des Bettes erwachsenden Kräfte es vorschreiben, ist wohl die einzige genügende Vorstellungsweise.

³⁵ Forbes, Travels, p. 365 u. f.

³⁶ Agassiz, Système, p. 524 u. f.

³⁷ Hopkins, Phil. Mag. 1845. XXV. p. 321.

³⁸ Forbes, VIIIth Letter, Ed. n. phil. J. Oct. 1844, p. 375. — Whewell, Phil. Mag., März u. Mai 1845.

Theorie von Forbes. — Forbes ³⁹ hat mit grossem Scharfsinn die Aehnlichkeiten hervorgehoben, welche nach seinen Messungen zwischen der Bewegung des Gletschers und der einer strömenden Flüssigkeit bestehen, nämlich 1. die grössere Geschwindigkeit der Mitte im Vergleich mit derjenigen der Ränder und des Grundes, 2. die nach dem Rande hin wachsenden, nach der Mitte verschwindenden Geschwindigkeitsunterschiede, 3. die Proportionalität dieser Unterschiede selbst mit der Grösse der Totalgeschwindigkeit, 4. die Zunahme der Totalgeschwindigkeit mit der Neigung des Bettes und der Mächtigkeit der Eismasse u. s. f. Diese Gesetze treten um so schärfer hervor, je grösser die gegenseitige Beweglichkeit der Theilchen ist, können aber auch bei dem geringsten Grade derselben, sobald überhaupt ein wahres Fliessen stattfindet, nicht ganz verschwinden. Vielleicht aber wurde einem wesentlichen Unterschiede, der zwischen dem Fortrücken des Gletschers und dem Fliessen einer jeden auch noch so zähen Flüssigkeit besteht, bisher nicht genug Rechnung getragen: wir meinen der durch Abschmelzung sehr verminderten Reibung im Vergleich zu dem grossen Zusammenhang der Masse. Bei andern Flüssigkeiten sind die an den Wänden und am Grunde liegenden Theilchen nahe als ruhend zu betrachten und die ganze Erscheinung des Fliessens geht in der Flüssigkeit selbst vor sich, hier hingegen vermag die Schwere, wirke sie nun von oben pressend oder von unten ziehend, die Adhärenz zu überwinden und das Eis massenhaft zu verschieben. Schon an herabgleitenden und rieselnden Schneemassen beobachtet man ähnliche aus Gleiten und Fliessen zusammengesetzte Bewegungen.

³⁹ Forbes, Travels, p. 370. — Ed. n. phil. Journ. II^d Letter, Oct. 1842 — Jan. 1843, und Trav. Appendix, p. 396.

Der Mechanismus der Bewegung. — Die Art, wie nun im Innern die Bewegung der Theilchen vor sich geht, spricht sich nach Forbes ⁴⁰ in der früher erläuterten Struktur des Gletschers aus, indem sich nach denjenigen Flächenrichtungen, auf welchen die gegenseitige Bewegung an einander liegender Theilchen am grössten ist, Auflockerungen und feine Zerspaltungen bilden, die, einmal vorhanden, die weitere Bewegung ungemein unterstützen. Diese Struktur soll eine Eigenschaft aller gestört abfliessenden viskösen Flüssigkeiten sein. In der That boten Massen von Gyps und Leim ⁴¹ (*plaster and glue*), die man durch einfache oder zusammenkommende Rinnen abfliessen liess, eine innere Streifung, eine oberflächliche Ogivenstruktur, endlich eine Verschmelzung zweier Zuflüsse dar, die vollständig an die Erscheinungen der Gletscher erinnerten. Nichtsdestoweniger vermisst man sowohl bei diesen Versuchen im Kleinen als mit Bezug auf den Gletscher im Grossen (jenes *experimentum crucis* abgerechnet) den experimentellen Nachweis, dass jene löffelförmigen Bandschichten wirklich Flächen grösster Bewegungsdifferenz seien. — Aus der nämlichen Theorie folgt weiter ⁴², dass die Richtungen grössten mechanischen Druckes senkrecht, diejenigen grösster Molecularspannung parallel zu den Strukturflächen gestellt sein müssen, dass daher der Gletscher in Richtungen spaltet und klappt, die zu diesen Flächen ebenfalls senkrecht stehen. So in der That trennt sich das ausgebreitete Gletscherende des Rhonegletschers durch Radialspalten, während die Struktur periphe-

⁴⁰ Forbes, Vth Letter, Ed. n. phil. J. Apr. 1844, p. 220. — XIIth Letter, ibid. p. 148.

⁴¹ Forbes, Trav., p. 378 u. f. — VIIth Letter, Ed. n. phil. J. Oct. 1844, p. 244.

⁴² Forbes, Travels, p. 389. — Edinb. n. phil. Journ. 1842, p. 389.

risch herumläuft; so richten sich an Vorsprüngen des Ufers die Risse schief aufwärts, während die Struktur sich convex herumkrümmt, und Aehnliches mehr.

Das Erscheinen von Schutt auf dem Gletscher.

— Eine der auffallendsten Folgerungen der Theorie von Forbes, welche als Gegenstand fernerer Untersuchungen Erwähnung verdient, betrifft das Erscheinen von Erde und Steinen am Ende der Gletscher, ungeachtet das Eis höher oben davon frei ist. Es sollen diese fremden Theile, z. B. am Rhonegletscher ⁴³, vom Eise auf dem Gletschergrunde aufgegriffen, durch die Bewegung längs der aufsteigenden frontalen Strukturblätter fortgeschoben und zuletzt oberflächlich zu Tage gefördert worden sein. Also wieder ein Versuch, das Dasein einer fremden Körper ausstossenden Kraft zu erklären, deren es doch schwerlich bedarf, um von der Ansammlung des Schuttes gegen das Ende des Gletschers Rechenschaft zu geben. Auch hat Schlaginweit ⁴⁴ eine streifenweise Verbreitung von Unreinigkeiten von unten her in den Gletscher weit natürlicher aus dem Eindringen schlammigen Grundwassers in lockere Strukturbänder erklärt.

Ansicht von Schlaginweit. — Es scheint überhaupt Schlaginweit ⁴⁵ zufolge dem früher über die Strukturblätter Gesagten denselben eine etwas andere Deutung zu geben als Forbes. Sie sind nach ihm nicht mehr Flächen grösster relativer Verschiebung, sondern „entstehen transversal an der Firngränze in Folge der Spannung, welche „das Eis durch die Bewegung nach abwärts erleidet“, und erhalten sich, erweitert, ausgebildet, umgeformt, vermöge der

⁴³ Forbes, XIIIth Letter, Edinb. n. phil. Journal, Apr. 1847, p. 151.

⁴⁴ Schlaginweit, Unters., p. 89.

⁴⁵ Schlaginweit, Unters., p. 87 u. f.

Infiltration und dem fortdauernden Zuge auch auf dem weitem Gletscher. Nicht ein Druck, der von oben her den Gletscher drängt, sondern ein Zug, der die untern von den obern Theilen zu trennen strebt, wäre das vorwaltende Kräftesystem. Aber sollte dann nicht, darf man wohl fragen, ein Spaltenwerfen nach dem Verlauf der Strukturbänder eine sehr häufige Erscheinung werden, während die Richtungen wirklicher Zerreißung sich, wie Forbes nachweist, mehr senkrecht entwickeln? Sollte dann nicht ein Zusammengehen von den Rändern nach der Mitte, statt eines Auseinandergehens in der Lateralbewegung der Gletschertheile sich verathen? Sollten die Ogivenbogen der Firngränze nicht eine Tendenz erhalten, sich aufwärts gekrümmt statt niederwärts zu bilden, wie eine in einer Rinne herabfließende Sandmasse es zeigt? — Doch genug solcher Fragen. Man begeht oft ein Unrecht, die mit Rückhalt ausgesprochene Meinung eines Verfassers weiter zu verfolgen und schärfer zu formuliren, als er es selbst gewollt hat. Es genüge, den Standpunkt bezeichnet zu haben, auf dem die Theorie der Gletscherbewegung gegenwärtig steht und von dem aus ein weiterer Fortschritt nur von einem noch vollständigeren und tiefern Studium des Bewegungsmechanismus der beweglichen Massen verschiedener Art zu erwarten ist, von einer weiteren Verfolgung des Weges, den Forbes mit so vielem Glücke bereits eingeschlagen hat.

Schlussbetrachtung. — Gar wohl kann es geschehen, dass die Bewegungserscheinungen des Gletschers im Ganzen mit denen einer bis in die kleinsten Theilchen homogenen und verschiebbaren zähen Flüssigkeit übereinstimmen, ohne dass sich desshalb alle Einzelheiten derselben nachweisen lassen. Augenscheinlich hängt die Beweglichkeit des Gletschers mit zwei Eigenschaften zusammen, einerseits mit der zunächst des Schmelzpunktes eintretenden

etwas grössern Nachgiebigkeit des Eises, die von Person ⁴⁶ durch Versuche im Kleinen nachgewiesen wurde, hier aber, wo die ganze Eismasse nahe auf 0 steht, im Grossen hervortreten muss, anderseits mit der innern Zertheilung durch kleine Sprünge und Haarspalten, die schon mit der ursprünglichen Vereisung aus Firnkörnern beginnt und von der Bewegung beständig unterhalten und erneuert wird. Es begründet diess einen Unterschied von dem Verhalten einer durchaus homogenen zähen Flüssigkeit und eine gewisse Annäherung an dasjenige einer aus ganz getrennten Theilen und Brocken zusammengesetzten Schuttmasse. Dass die Zertheilung durch Haarspalten eine Hauptbedingung der Beweglichkeit ist, beweist eben der grosse Einfluss der Temperatur, kraft der Abschmelzung und Durchtränkung, die sie bewirkt. Freilich in einer Schuttmasse finden nur pressende, nicht aber ziehende Kräfte einen Widerstand, und die einzelnen Stücke selbst sind unveränderlich, während sie hier im Verlaufe der Bewegung selbst sich ausbilden und umformen. So wird man endlich auf die Ansicht gedrängt, dass der Gletscher das massenhafte Gleiten eines starren Körpers, das Fliessen einer zähen Flüssigkeit, zuletzt das Weichen (*tassement*) eines heterogenen Aggregates theilt, aber keinem dieser drei Fälle ausschliesslich folgt und daher nur durch eine richtige Vermittlung ihrer spezifischen Erscheinungen vollständig erklärt wird. Die Schwere aber, wie Saussure es festgestellt, bleibt die unaufhörlich und gewaltig wirkende Kraft, welche den stundenlangen erstarrten Eisstrom in Bewegung erhält.

⁴⁶ Forbes, XVIth Letter, Ed. n. phil. Journ. L. 1851, p. 171.

XI. Die Schwankungen des Gletschers.

Die jährlichen Schwankungen. — Wie bereits erläutert worden, sind die Gestalt und Grösse des Gletschers ein Ergebniss widerstreitender Einwirkungen, von welchen die einen ihn zu vergrössern, die andern ihn zu vermindern streben. Zu den erstern gehören vorzüglich 1. die winterlichen Schneefälle, welche den Firn jährlich um eine neue Schicht erhöhen, den Gletscher längere Zeit vor den Angriffen der Witterung schützen; 2. die Bewegung des Eises, aus einem Fliessen und Gleiten zusammengesetzt, durch welche die höhere und stärkere Eismasse an tiefere Stellen herabgeführt wird. Zu den den Gletscher verkleinernden Einwirkungen hat man vor allem zu rechnen: 1. die Abschmelzung und Verdunstung vermöge der äussern Wärme, d. h. die Ablation, und 2. vielleicht das Zusammensinken in Folge des untergrabenden Einflusses der Gletscherbäche. Würden diese entgegengesetzten Ursachen an jeder Stelle sich aufheben, so bliebe der Gletscher unverändert; diess aber ist nur vorübergehend der Fall, und man beobachtet in der Regel eine fortschreitende Veränderung, welche das Vorwalten der einen oder andern jener Ursachen darthut.

Da während des nach oben immer längern Winters die auflösenden Einwirkungen vollständig schweigen, während die Bewegung, wenn auch verlangsamt, fort dauert, so erklärt sich leicht, dass der Gletscher anfangs der warmen Jahreszeit nach dem Schmelzen des Winterschnee's die grössten Dimensionen zeigen wird. Die Eismasse ist dann

am weitesten vorgerückt, ohne dass noch die äussere Wärme den eigentlichen Körper derselben angegriffen hätte. Dazu kommt noch jene durch das Gefrieren des ersten Schmelzwassers in dem erkalteten Gletscher hervorgebrachte oberflächliche Auftreibung. — Allmählig aber werden, ungeachtet die Bewegung mit der Durchtränkung zunimmt, die zerstörenden Wirkungen Meister. Der Gletscher schwindet auf allen Seiten, seine Oberfläche sinkt durch Ausschmelzung zusammen, sein Ende zieht sich merklich zusammen und er erreicht gegen Ende der wärmern Jahreszeit sein Minimum. So entsteht denn ein jährliches Schwanken, das je nach der Grösse und Lage der Gletscher und je nach der stärkern oder schwächern Ausprägung der Jahreszeiten verschieden deutlich hervortritt. An genaueren Messungen über den Umfang dieser periodischen Schwankungen fehlt es bis jetzt, denn bei kurz dauernden Beobachtungen verschwinden sie gewöhnlich hinter dem bedeutendern Einfluss anderer Veränderungen.

Unregelmässige Schwankungen. — Es erleidet nämlich der Gletscher noch Schwankungen der Grösse und Länge, die an keine Regel und keinen Zeitraum gebunden sind. Diese unregelmässigen Schwankungen umfassen bald nur einzelne Jahre, bald eine ganze Reihe von Jahren, oft äussern sie sich übereinstimmend auf verschiedenen Gletschern, oft gerade entgegengesetzt; da zeigen sie sich unbedeutend, dort schreiten sie in schreckhaftem Maasse vor; endlich scheinen sie zu gewissen Zeiten die Wirkung jüngstvergangener, zu anderen längstverflossener Witterungsperioden zu sein. Dennoch können auch diesen Veränderungen, die sich am augenfälligsten am Vor- und Zurückgehen des Gletscherendes aussprechen, keine andere Ursachen zu Grunde liegen, als die sich auch in der Jahresperiode bekämpften, nur dass hier das Vorwalten der nährenden oder

zehrenden Ursachen einen längern Zeitraum im gleichen Sinne fort dauert.

Normalgrösse des Gletschers. — Um über den Einfluss des meteorologischen Charakters ganzer Jahre oder Jahresreihen eine klare Vorstellung zu erhalten, muss man von einer Reihe mittlerer Jahre ausgehen, in denen der Gletscher einen bleibenden Normalzustand gewinnt, so dass am Ende jeder Jahresperiode Ansehen, Grösse und Beschaffenheit wieder dieselben sind wie am Anfang. Denkt man sich zwei oberflächliche Punkte des Gletschers um das jährliche Vorrücken aus einander liegend, so verlangt der eben bezeichnete Gleichgewichtszustand, dass der obere Punkt, der Thalsole parallel verschoben, vertikal genau so hoch über den zweiten Punkt zu liegen komme, als Ablation und Zusammensinken mit einander betragen. Und in ähnlicher Weise muss am Ende des Gletschers die einzige Ablation eine Eisdicke zu zerstören im Stande sein, derjenigen gleich, um welche der Gletscher durch sein jährliches Vorrücken ohne Abschmelzung über dem anfänglichen Endpunkt erhöht erschiene. In der Firnregion, wo der jährliche Niederschlag von der Ablation nicht aufgezehrt wird, ist es vorzüglich das Zusammengehen der Masse, wodurch an jeder Stelle das aus der Schneeerhöhung und der Bewegung hervorgehende Wachsen aufgehoben wird. Alles deutet darauf hin, dass unter gegebenen klimaterischen und orographischen Verhältnissen stets eine solche Normalgrösse vom Gletscher erreicht werde, für welche die vollständige Abgleichung der entgegengesetzten Ursachen am Ende der Jahresperiode möglich sei ¹.

¹ Das Bestehen des Normalzustandes zieht gewisse mathematische Relationen nach sich. Sei an einer oberflächlichen Stelle des Gletschers L das oberflächliche Vorrücken für 1 Jahr, S die oberflächliche Ablation aus Schmelzung und Verdunstung, R die vertikal

Abweichungen vom Normalzustand. — Nun trete ein kaltes Jahr ein, dadurch charakterisirt, dass erstens bei vielleicht nicht sehr abweichender Totalmenge ein grosser Theil der Niederschläge als Schnee niederfällt, dass vorzüglich aber zweitens Abschmelzung und Ablation weit unter dem Maasse gewöhnlicher Jahre bleiben. Zwar wird dadurch auch das Vorrücken langsamer werden und zur Erhaltung des Normalzustandes ein geringeres Abschmelzen verlangen; wenn aber jene Veränderungen, wie es gewöhnlich der Fall scheint, die weit überwiegenden sind, so muss sich als Endresultat des Jahres eine Erhöhung der ganzen Oberfläche des Gletschers ergeben. Eine solche Erhöhung wird überhaupt immer eintreten, wenn das Verhältniss der Ablation zur jährlichen Bewegung im Vergleich mit demjenigen, welches für den Normalzustand gilt, kleiner ist; eine Senkung hingegen, wenn es grösser wird. Aehnliche Betrachtungen auf das

gemessene Reduktion durch Zusammensinken; S und R werden mit negativem Zeichen zu nehmen sein, erstere Grösse, wenn, wie auf dem Firn, das Jahr mit einer neuen Firnlage endet, die zweite Grösse, wenn statt des Zusammensinkens eine Auftreibung stattfindet. Bezeichnet dann i die Neigung der Thalsole, a die vertikale Neigung der Oberfläche des Gletschers zur Thalsole, dann werden 1. die jährliche Verschiebung längs der Thalsole und 2. die Höhenunterschiede der beiden Endpunkte von L sein:

$$L \frac{\cos (a + i)}{\cos i} \text{ und } L \frac{\sin a}{\cos i}$$

das Gleichgewicht der positiven und negativen Ursachen erlangt dann

$$S + R = L \frac{\sin a}{\cos i}$$

und am Gletscherende, wo R verschwindet, wenn a den Böschungswinkel des Erdabfalles darstellt,

$$S = L \frac{\sin a}{\cos i}.$$

Gletscherende angewandt, werden beurtheilen lassen, ob der Gletscher stösst oder weicht. Natürlich hat eine Reihe kalter oder warmer Jahre eine wachsende Veränderung im gleichen Sinne zur Folge ². — Ist eine anomale Veränderung einmal eingetreten, so sieht man leicht ein, dass eine Reihe gewöhnlicher Jahre den Normalzustand nur allmähig und asymptotisch herstellen können, dass es zu einer schnelleren Rückkehr des anomalen Einflusses entgegengesetzter Jahre bedürfen wird. Berücksichtigt man ferner, dass die Massenvermehrung des Gletschers nicht von dem untern Theile desselben stammt, sondern vermöge der Bewegung von den Anhäufungen der Firnregion herrührt, so erklärt sich leicht, dass grössere Anhäufungen aus einer Reihe schlechter Jahre als eine Anschwellung, ungewöhnlich geringe als eine Verdünnung längs dem Gletscher herabsteigen werden. Es kann dann wohl geschehen, dass der Gletscher an der einen Stelle seiner Länge seine Morainen vordrängt, während er gleichzeitig an einer andern schwindet, dass er je nach seiner Länge an seinem Ende die eine oder andere Erscheinung zeigt.

Die Wirkung, die man am Gletscherende beobachtet, ist nämlich zusammengesetzt aus der örtlichen Jahresver-

² Sei s die Ablation eines anomalen Jahres, l die Bewegung, h die Erhöhung am Ende dieses Zeitraumes. Für die Erhaltung des Normalzustandes sollte $l \frac{S}{L}$ die Ablation darstellen (nebst Zusammensinken), die Erhöhung des Gletschers wird also sein

$$h = l \frac{S}{L} - s$$

und h wird $+$ oder $-$ sein, eine Erhöhung oder Senkung darstellen, je nachdem $\frac{s}{l} <$ oder $> \frac{S}{L}$ ist. Die Verschiebung am Ende, wo a die Neigung des Endabfalles ist, wird sein

$$v = (S - s) \cotg a.$$

änderung und der Massenveränderung einer viel frühern Zeit, die, von der Firnregion stammend und auf der ganzen Länge des Gletschers modifiziert, zuletzt an sein Ende gelangte. Wie kann man sich wundern, dass sich ein so komplexes Resultat bisher bestimmten Regeln entzogen hat und nur an ähnlichen und ähnlich liegenden Gletschern gleichartiger hervortritt.

Tägliches Vorrücken. — Bestimmte Messungen über das Vorrücken wurden von Desor und Agassiz ³ am Ende des Aargletschers ausgeführt, indem die Entfernung fortgeschobener Morainenblöcke von abstehenden festen Punkten wiederholt gemessen wurde. So fanden sie

1844. Aug. 17. — Sept. 5.	tägl. Vorrücken	8 ^{mm} ,6
Sept. 5. — Nov. 4.		4,9
1845. Juli 16. — Juli 20.		13,0
Juli 20. — Juli 29.		9,0
Juli 29. — Juli 31.		5,0
Juli 31. — Aug. 8.		10,7
Aug. 8. — Aug. 16.		9,0.

Das Vorrücken ging also sehr unregelmässig vor sich und stand in keiner Beziehung zu der jedesmaligen Temperatur, da Juli 30. und 31. z. B. sehr warme Tage waren. Agassiz ⁴ glaubt, der Einfluss der Witterung offenbare sich am Gletscher nach einer Verspätung von einigen Tagen, doch genügen die Beobachtungen zum Beweise dieses Satzes nicht, weil die Verschiebung der Moraine bald leichter, bald schwerer, bald nach längerem Stillstand ruckweise vor sich ging. Hingegen zeigte die folgende vom Sommer bis in den Winter fortgesetzte Beobachtungsreihe, wie wenig selbst die Jahreszeiten das Vorrücken beherrschen ⁵.

³ Agassiz, Système, p. 484—85.

⁴ Agassiz, Système, p. 486.

⁵ Agassiz, Système, p. 487.

1845. Juli 17. — Aug. 19.	tägl. Vorrücken	9mm,9
Aug. 19. — Sept. 6.		10,8
Sept. 6. — Sept. 13.		14,3
Sept. 13. — Sept. 23.		9,6
Sept. 23. — Oct. 23.		8,6
Oct. 23. — Nov. 20.		5,0
Nov. 20. — Dec. 11.		4,2
Dec. 11. — Dec. 30.		15,2
Dec. 30. — Jan. 11. 1846.		13,3

Unterschiede verschiedener Gletscher. —

Wie abweichend das Verhalten verschiedener Gletscher ist, erhellt aus einer von Schlaginweit⁶ gegebenen Tafel über die Entfernung der im Rückzug begriffenen Tiroler Gletscher von der jüngsten Moraine, wobei freilich die Zeiträume der Bewegungen unbekannt sind, da man den Zeitpunkt nicht kennt, wo jeder Gletscher das Maximum seines letzten Vordringens erreichte. Auch zu der Orientirung des Gletschers ist keine direkte Beziehung bemerkbar.

	Lage nach	Entfernung
1846. Goldberggl. (Pinzgau)	N	20 ^m
Kl. Zirknitzgl. (Zirknitzth.)	S	70
Pasterzengl. (Möllth.)	SO	13
Marmolattagl. (Fassath.)	NO	15
1847. Hintereisgl. (Oetzth.)	NO	3,4
Platteigl. (Oetzth.)	SO	0
Rothe Kahrgl. (Rofnerth.)	SO	39
Rofner Kahrgl. (Rofnerth.)	SO	60
Thaleitgl. (Venterth.)	N	0
Hochjochgl. (Oetzth.)	N	3
Marcellgl. (Niederth.)	NW	11,6
Niederjochgl. (Niederth.)	N	3

⁶ Schlaginweit, Unters., p. 130 u. f.

	Lage nach	Entfernung
1847. Teingl. (Niederth.)	NW	38 ^m
Gross. Oetzthalgl. (Gurglerth.)	N	4
id. 1. Seitengl. id.	O	40
id. 2. Seitengl. id.	O	30
Langthalergl. (Gurglerth.)	NW	2
Rothmoosgl. (Gurglerth.)	W	0
Salurngl. (Schnalserth.)	O	30
Matschgl. (Matschth.)	SW	150
Langgrubgl. (Matschth.)	S	12
3. Madatschgl. (Ortels)	NO	110
Guardagl. (Engadin)	SO	13
Vermontgl. (Montafun)	N	0
1848. Pasterzengl. (Möllthal)	SO	15
Kl. Flussgl. (Möllthal)	SW	20
Klobengl. (Möllthal)	SO	10
Pfandelgl. (Pfandelth.)	W	120
Sinibaleckgl. (Möllth.)	SW	10
Wiesbachgl. (Fuschth.)	SO	150
Hintereisgl. (Rofnerth.)	NO	4,8
Thaleitgl. (Venterth.)	N	0
Marcellgl. (Niederth.)	NW	8,2
Teingl. (Niederth.)	W	44.

Schlaginweit ⁷ folgert aus diesen Zahlen, dass die Oszillationen sekundärer Gletscher im Allgemeinen grösser sind als die der primären und überhaupt im umgekehrten Verhältniss zur Grösse der Gletscher stehen. Er schreibt den stärkern Rückzug der langsamern Bewegung und der dünnern Eislage zu, das stärkere Vorrücken dem grössern Einfluss der auf dem Gletscher mehr zusammengedrängten Trümmer zur Beschützung des Eises. Die Bedeckung des Gletschers mit

⁷ Schlaginweit, Unters., p. 132.

Schutt war schon früher von Agassiz ⁸ als eine Ursache des starken Wachsens des Aar-, des Zmutt-, des Anérongletschers (im Ferretth.) aufgeführt worden. Solche Gletscher sind überhaupt gegen Temperaturveränderungen unempfindlicher als diejenigen, welche, wie der Grindelwald-, der Rhône-, der Mattmargletscher, geringen Schutt und schwache Morainen führen.

Grössere Schwankungen. — Kaum wird es ohne Messungen, die eine längere Reihe von Jahren umspannen, möglich werden, den richtigen Zusammenhang zwischen den Schwankungen des Gletschers, dem Witterungscharakter der Jahre und den Localverhältnissen zu entdecken. An solchen Messungen fehlt es aber ganz. Die folgenden zwei Beispiele sind vielleicht die einzigen, in denen der Gang einer grössern Oszillation numerisch festgestellt wurde. Schlaginweit ⁹ nennt eine Steinhütte, die 1799 am Rande der Moraine des Leitergletschers erbaut wurde. Der Gletscher zog sich bis 1820 von derselben zurück, rückte dann wieder vor und verschüttete sie 1829, worauf sie dann 1847 wieder zum Vorschein kam. Es ergab sich

1799—1820 Rückzug von	40 ^m , jährlich im Mittel	—	2 ^m
1820—1829 Vorrücken	40	+	4,4
1829—1848 Rückzug	2	—	0,1

Das andere Beispiel führt am vollständigsten Forbes ¹⁰ an. Der Brenvagletscher, seitwärts in die Allée blanche ausmündend, war zu Saussure's Zeit (1767) so klein, dass die Doire neben dessen Ende vorbeifloss; später reichte er beständig über dieselbe weg an die gegenüberliegende Thallwand und drängte sich allmählig zu einer hoch an derselben befindlichen Kapelle, die er 1818 zerstörte. 1821 konnte

⁸ Agassiz, Syst., p. 545. — Schlaginweit, Unters., p. 125.

⁹ Schlaginweit, Unters., p. 135.

¹⁰ Forbes, Trav., p. 203. — XIth Letter, Ed. n. ph. J.

sie wieder hergestellt werden und befand sich in Folge des starken Rückzuges 1840 schon wieder um 100 Met. über dem Eise; doch stieg der Gletscher 1842—46 neuerdings um 60 Met. Sein freies Ende rückte im warmen Sommer 1845—46 um ganze 22 Met. vor, woraus Forbes schliesst, dass die erste Wärme nach starkem Wachsen das letztere vermöge der stärkeren Durchtränkung und Beweglichkeit noch vermehre. Solche wahrscheinliche Regeln, die an die Stelle des frühern grundlosen Glaubens ¹¹ an 7jährige Schwankungen getreten sind, ermangeln leider noch einer mehrfachen Bestätigung. —

Verschiedene Jahresreihen. — Eine grosse Menge einzelner Angaben über das Wachsen und Schwinden der Gletscher finden sich in Alpenreisen aufgezeichnet, aber bis Jemand die undankbare Mühe einer vollständigen kritischen Zusammenstellung auf sich nimmt, bleiben sie ziemlich unfruchtbar; denn sie beziehen sich meist nur auf einzelne Stellen und Augenblicke, ohne Rücksicht auf frühere Vorgänge und Zustände. Es mögen daher die folgenden allgemeineren Wahrnehmungen genügen. Nach Schlaginweit ¹² haben die Tiroler Gletscher 1608—10, dann um 1710, endlich 1815—17 allgemein ein Vorrücken gezeigt, letzteres als Folge der bekannten schlechten und kalten Jahre. 1822 zogen sie sich durchgehends zurück. Nach Venetz ¹³ waren 1811 die Monte-Rosa- und Montblanc-Gletscher bedeutend klein; erlitten aber 1812—17 auch wieder eine ausserordentliche Vergrösserung, auf welche 1821—24 eine Periode des Rückganges folgte. Nach einigem Schwanken zeigte sich ¹⁴

¹¹ Agassiz, Syst., p. 541. — Schon von Scheuchzer in Itin. IV. p. 286 widerlegt.

¹² Schlaginweit, Unters., p. 129.

¹³ Venetz, Denkschriften, 1833, I. p. 4.

¹⁴ Charp., Essai, p. 26.

1826—30 wieder ein Wachsen, dann bis 1833 ein Stillstand, 1836—37 aber ein neues Wachsen. 1839—42 trat Verminderung ein, allein 1843—46 fand Forbes ¹⁵ die Mont-blanc-Gletscher durch vorangegangene schneereiche Winter durchgehends wieder im Stossen begriffen. Das bestätigte auch Ed. Collomb ¹⁶ für 1848; während die letzten Sommer, namentlich 1852, wieder umgekehrt wirkten. Es zeigt sich hiebei, dass grosse Gletscher die begonnene Bewegung noch ein oder zwei Jahre länger fortsetzen, nachdem kürzere durch veränderte Witterungsverhältnisse schon zur Umkehr gebracht worden sind. Ueberhaupt folgt aus diesen Angaben, dass eine Reihe nach der einen oder anderen Seite ausgezeichneter Jahre, etwas früher oder später, einen unmittelbaren Einfluss äussern, welcher die specifischen Abweichungen der verschiedenen Gletscher übertrifft und ihnen eine gleichartige Bewegung aufnöthigt. Dass dagegen in gewöhnlichen Jahren eine solche Uebereinstimmung fehlt, wird durch zu viele Beispiele dargethan, als dass es weiterer Citate bedürfte. Selbst ganz nahe liegende zusammengehörende Gletscher können ein entgegengesetztes Verhalten zeigen, wenn die erhaltenden oder zerstörenden Ursachen auf beiden durch Ungleichheit der Lage oder ungleiche Ernährung von oben her verschieden wirken. ¹⁷ So beobachtete es Agassiz ¹⁸ 1839 an den beiden Aargletschern, deren einer zu-, der andere abnahm. Escher ¹⁹ sah sogar 1841 den langen Aletschgletscher in den obern Gegenden zurückweichen, während sein unteres Ende bedeutend vorrückte.

¹⁵ Forbes, XIth Letter, Ed. n. ph. J., April 1847.

¹⁶ Ed. Collomb., Bibl. univ. Janv. 1849.

¹⁷ Charp., Essai, p. 27.

¹⁸ Agassiz, Etudes, p. 236.

¹⁹ Escher v. d. L., Tagebuch, Manuscr. 1841, p. 218.

Ungewöhnliches Vorrücken. — Ungewöhnlich starke Bewegungen des Gletscherendes hängen meist mit besondern Localverhältnissen zusammen. Besonders wenn das vorgeschobene Ende an steilere Abhänge gelangt, steigt der Gletscher rasch ins Thal herab und veranlasst dann wohl jene Thalschliessungen und Wasseransammlungen, deren früher Erwähnung geschah. Umgekehrt befördert die abschüssige Lage die Wirkung der zerstörenden Kräfte und der Gletscher beim Schwinden zieht sich ebenfalls schneller zurück. Ohne Zweifel ist die steilere Lage der Hauptgrund der grossen Veränderlichkeit mancher Gletscher zweiter Ordnung. Einige Beispiele starker Bewegung sind die folgenden. Auf die kalten Jahre 1815—17 hin bewegte sich nach Venetz ²⁰ der Distelgletscher im Saasthal um mehr als 15 Met. in Einem Jahre; der Lysgletscher, am Südabfall des Monte Rosa, nach Zumstein ²¹, um 48 Met.; der obere Grindelwaldgletscher ²² 1842 um 30 Met.; der Brenvagletscher ²³ 1846 um 31 Met. u. s. f. Noch merkwürdiger war die Erscheinung, welche nach den genauen Zusammenstellungen von Stotter ²⁴ der Vernagtgletscher und der kleine Rofnergletscher 1843—45, und vermuthlich schon früher wiederholt, dargeboten haben. Getrennt durch einen Felsenkamm rückten die beiden Gletscher zuerst einzeln auffallend vor, vereinigten sich dann unterhalb desselben und stiegen nun in einen Körper verbunden mit noch grösseren Schritten, unter Erschütterungen und Krachen, in das Thal

²⁰ Venetz, Denkschr., 1833, p. 4.

²¹ Zumstein, Welden, Monte Rosa, p. 117.

²² Agassiz, Etudes, p. 235.

²³ Forbes, XIIth Letter.

²⁴ Stotter, die Gletscher des Vernagtthales, 1846. — Französisch. — Friguet, Essai sur le phénomène erratique du Tirol, 1846, — Agassiz, Syst., p. 517. — Schlaginweit, Unters., p. 140.

herab, das sie vollständig absperren, bis das wühlende Wasser sich einen Durchbruch geschaffen hatte. Der Gang der Bewegung war der folgende:

	Met.		Met.
1842 Wachsen von 200 in 67 Tag., tägl.	2,98		
1843 Nov. 13. - 1844 Juni 18. „	376 „ 219 „ „	1,71	
1844 Juni 18. - 1844 Oct. 18. „	105,6 „ 122 „ „	0,86	
1844 Oct. 18. - 1845 Jan. 3. „	132,8 „ 76 „ „	1,73	
1845 Jan. 3. - 1845 Mai 19. „	379,2 „ 136 „ „	2,78	
1845 Mai 19. - 1845 Juni 1. „	129,6 „ 13 „ „	9,92	

Es scheint hier ein massenhaftes Gleiten im Spiele, das anfangs durch Hindernisse gehemmt, dieselben später überwindet und als beschleunigte Bewegung sich kund gibt. Es wäre ein Uebergang zu der Erscheinung der eigentlichen Gletscherstürze.

Solcher ausserordentlichen Zunahmen, nach denen der Vernagtgletscher sich immer wieder auf seine engern Schranken verkleinerte, hat Schlaginweit²⁵ fünf ermittelt.

Periode.	Anfang.	Maximum.	Ende.	Seeentlerungen.
1.	1599	1601	?	1600
2.	1677	1677 od. 78	1712	1678, 79, 80, 81
3.	1770	1772	1772-77?	1770, 72
4.	1820	1822	1824-25	—
5.	1840	1845	—	1845, 46, 47, 48

Das Zurückweichen ging meist weit langsamer vor sich als das Vorrücken, verlangte z. B. in der Periode 2 nicht weniger als 34 Jahre.

Beispiele zunehmender Vergletscherung. —

Geht man von der Jetztzeit in die Vorzeit zurück, so knüpft sich an die Schwankungen der Gletscher die interessante Frage einer allgemeinen Verwilderung des Hochgebirges. Dass die Gletscher im Ganzen genommen durch

²⁵ Schlaginweit, Unters., p. 140.

die letzten Jahrhunderte bei ihren Schwankungen mehr zuzunehmen als abgenommen haben, ist eine unter den Alpenbewohnern allgemein verbreitete Meinung. Lässt sie sich durch entscheidende Thatsachen feststellen, so folgt daraus, dass es neben den jährlichen periodischen und den grössern unregelmässigen Schwankungen noch langsam fortschreitende Secularveränderungen gibt. Venetz²⁶ und andere haben manche Thatsache dieser Art zusammengestellt, aus deren Zahl die folgenden, auf den menschlichen Verkehr bezüglich, vorzüglich schlagend erscheinen:

1. Ehemals soll der Uebergang von Courmajeur hinüber nach Chamouny häufig gemacht worden sein; seit 1781 ist derselbe ungemein schwierig geworden.²⁷

2. In alter Zeit verkehrte die Gemeinde Bagnes in Wallis über Cermontana und Col Fenêtre mit Piemont; jetzt bietet der Durandgletscher den Maulthieren ein fast unübersteigliches Hinderniss dar.

3. Es finden sich Akten eines Prozesses zwischen den Gemeinden Bagnes und Liddes über einen Hochwald, an dessen Stelle nun tiefes Eis alle Verbindung unterbricht.

4. Die Verbindung von Zermatt, hinter der Dent-blanche durch ins Eringerthal war ehemals selbst für ganze Processionen gangbar; jetzt gehört sie zu den schwierigsten Alpenübergängen.

5. Ein gepflasterter Weg ging von Gruben und Meiden im Turtmannthal ins Nicolaithal hinüber, wo gegenwärtig nur Jäger durchkommen.

6. Vielbegangene, ebenfalls gepflasterte Saumwege setzten vormals und noch 1515 Anzasca und Autrona, am Monte Moro durch, mit Saas in Verbindung; während schon

²⁶ Venetz, Denkschr., 1833, p. 6 u. f.

²⁷ Forbes, Trav., p. 217.

Anfangs des vorigen Jahrhunderts deren Unterhalt unmöglich wurde.

7. Von Lötschthal in Wallis ging einst ein Saumweg, von dem noch Spuren gefunden werden, nach Gaster hinüber, während jetzt nur ein schwieriger Fussessteig.

8. Ebenso standen die Protestanten des Oberwallis noch 1550—1600 durch einen Saumweg in Verbindung mit ihren Glaubensgenossen in Grindelwald. Die beiden Petronellenkapellen, welche die Enden des Passes bezeichnet haben sollen und von denen die von Grindelwald 1570 noch stand, wurden beide, wie auch der Weg, von dem Gletscher verschlungen.²⁸

9. Am rechten Ufer des langen Aletschgletschers befindet sich ein Weiler, der vor 200 Jahren weit vom Gletscher lag, jetzt aber von dessen Morainen verschüttet wird.²⁹

10. Kappeler, 1740,³⁰ beschreibt das Ende des Aargletschers als oberhalb der bekannten Krystallhölen liegend; jetzt liegt es ungemein viel tiefer, so dass Agassiz ein Vorrücken von 800 Met. in 100 Jahren annimmt.

11. Nach dem Hochjochgletscher³¹ hin ging ein Saumweg, der seit der Mitte des 18. Jahrhunderts der Gletscher wegen ungangbar geworden ist.

Fernere Beispiele. — Andere zahlreiche Beweise finden sich in den Uebergriffen der Gletscher, der Aufwühlung fruchtbarer Weiden, der Zerstörung uralter Waldungen, der Verschüttung von Hütten, der Abschliessung von Thälern u. s. f. Gruner³² sammelte aus den Thälern des Berner Oberlandes, dem Grindelwald-, Lauterbrunnen-,

²⁸ Hugi, Alpenreise, p. 105.

²⁹ Ed. Collomb, Bibl. univ. Jan. 1849, p. 9.

³⁰ Agassiz, Syst., p. 542.

³¹ Schlaginweit, Unters., p. 144 u. f.

³² Gruner, die Eisgebirge der Schweiz.

Obersimmenthal, mancherlei Traditionen von nutzbaren Alpen und gangbaren Thalverbindungen, wo gegenwärtig ewiges Eis starrt. Nach Ed. Collomb ³³ greifen der Aletschgletscher an seinem linken Ufer, der Viesch- und der Zmuttgletscher mit ihren Enden Waldungen an, die wenigstens zwei- und dreihundert Jahre bestanden haben. Der Aletschgletscher an seiner rechten Seite, der Gornergletscher mit seiner Frontal-moraine ergreifen und zerstören Häusergruppen, die sich vor ihrer Nachbarschaft lange für sicher hielten. Schlaginweit ³⁴ berichtet, dass der Oetzthaler Gletscher erst vor 150 Jahren bleibend in das Thal vordrang und die dortige Rossalpe in See umwandelte. An diese Thatsachen reiht sich endlich die Entstehung kleinerer Gletscher aus Lawinenschnee, der nicht wieder verschwand. Seit 1732 entstand auf dem Simplon der kleine Rothelchgletscher ³⁵; seit 1811 ein solcher unter dem Galenhorn im Saasthal. So auch bildete sich nach Schlaginweit am Thaleitgletscher ³⁶ ein kleinerer zweiter Ordnung u. s. f. Selbst die Entstehung des Roththal- und des Rosenlaugletschers ³⁷ sollen in eine historische Zeit fallen. Entgegengesetzte Fälle des Verschwindens von Gletschern, wie Forbes ³⁸ es für einen kleinern zwischen den Aiguilles d'Argentièrre und Latour erläutert hat, scheinen weit seltener.

Die Frage der Alpenverwilderung. — Aus solchen Zeugnissen sofort den Schluss auf eine allgemeine Senkung und Verschlimmerung des Klima's zu ziehen, wäre indess voreilig. Manche Fälle der Alpenverwilderung haben

³³ Ed. Collomb, Bibl. univ. Janv. 1849, p. 9.

³⁴ Schlaginweit, Unters., p. 145.

³⁵ Venetz, Denkschr., p. 10.

³⁶ Schlaginweit, Unters., p. 146.

³⁷ Touss. v. Charpentier, p. 395.

³⁸ Forbes, Trav., p. 251.

ihren Grund in der Nachlässigkeit der Bewohner, denen lockendere Erwerbsquellen offen stehen³⁹; zusammenhängende Waldungen steigen noch heute zu Höhen empor, wo einzelne Baumgruppen sich nicht mehr halten; manche Thalverbindungen wurden verlassen, weil sich dem Verkehr andere Richtungen und bessere Wege geöffnet haben; endlich darf nicht vergessen werden, dass das menschliche Gemüth von bösen und schreckhaften Ereignissen weit tiefer ergriffen wird als von guten, und sich erlittener Verluste länger erinnert als gewonnener Vorthelle. Nichtsdestoweniger sind der Beweise, die auf eine allgemeine Zunahme der Alpengletscher im 17. und 18. Jahrhundert hinweisen, zu viele, um sämmtlich widerlegt werden zu können. Um aber diese Veränderungen zu erklären, bedarf es keiner bedeutenden Senkung des Klima's, vielleicht nicht einmal einer merklichen Aenderung der mittleren Jahrestemperatur. Nach der Grösse der jetzigen Schwankungen zu urtheilen, könnte schon eine lange Reihe schlechter Jahre, eine andere Vertheilung der Wärme oder der Niederschläge auf die Jahreszeiten, eine Abweichung in den Feuchtigkeitsverhältnissen, sobald diese abweichenden Verhältnisse einige Zeit anhalten, dafür genügen. Denn es stellt der Gletscher aus den früher entwickelten Gründen ein höchst empfindliches Meteoroskop dar, das nur durch riesenhafte Verlängerungen und Verkürzungen sein Gleichgewicht wieder findet.

Schwankungen einer vorgeschichtlichen Zeit.

— Abgesehen davon, dass die verflossene erste Hälfte des gegenwärtigen Jahrhunderts den mittleren Gletscherstand wenig mehr geändert hat, widerlegt eine andere Reihe von Thatsachen die Besorgnisse vor einer nie vorhandenen, immer fortschreitenden Vergletscherung, und lässt vermuthen,

³⁹ Heer, Gemälde von Glarus, p. 27.

dass auch die Sekularveränderungen der Gletscher, wie es bei der Temperatur und dem Magnetismus der Fall zu sein scheint, gleichfalls als grossartige Oszillationen aufgefasst werden müssen. Die Morainen, an ihren langen oder bogenförmigen Wällen, an der ungeordneten Anhäufung ihrer Bestandtheile, an der eckigen oder gefurchten Beschaffenheit ihrer Trümmer, an der Gruppierung ihrer Felsarten von allen andern Schuttanhäufungen leicht zu unterscheiden, dienen als zuverlässige Marchen, bis wie weit der Gletscher seine stossende Wirkung früher ausgeübt hat. Untersucht man aber von dem Ende eines gegenwärtigen Gletschers abwärts Grund und Wände des Thales, so entdeckt man beinahe immer einzelne, oft mehrere Morainenwälle, manche mit Vegetation und Wald überkleidet, die bis auf stundenweite Entfernung reichen und von ältern, ungleich grössern Verhältnissen der Eismasse Zeugniss geben. Venetz⁴⁰ allein hat 34 solcher Fälle aus den Walliser Alpen beschrieben. Einige Beispiele mögen genügen.

1. Vom Trelatêtegletscher im Thal von Mont-Joie (Savoyen) gelangte man (1821) nach 2270 Met. zu den Hütten von Gièta, die zwischen zwei alten Morainen liegen. Noch weiter von dem Dorfe Contamine sind Ueberreste einer dritten sichtbar.

2. Der eine Gletscher der Allée blanche, jetzt nicht in den Thalboden reichend, hat bedeutend entfernt zwei ältere Morainen.

3. Der Trioletgletscher zeigt gegen Courmajeur hin zwei alte Morainen, deren erste 1820 gegen 400, die zweite gegen 2050 Met. entfernt lag.

4. Der Salenazgletscher im Walliser Ferretthal hat jenseits des Dörfchens Plan-des-fours in einer Entfernung von 2600 Met. eine 32 Met. hohe Moraine vorgeschoben.

⁴⁰ Venetz, Denkschr. 1833, p. 17.

5. Mehrere kleinere Gletscher des Bagnesthales sind auf eine Stunde von alten Morainen entfernt, auf denen alte Bäume und Hütten stehen.

6. Der Rossbodengletscher auf dem Simplon lässt unterhalb vier grössere Morainen erkennen, von denen die äusserste 2270 Met. absteht und eine Eisdicke von mehr als 65 Met. voraussetzt.

7. Der Sirwottengletscher, ebenfalls auf dem Simplon, hat in einer Entfernung von einer Stunde vom jetzigen Eise drei deutliche Morainen zurückgelassen.

8. Die Morainen des Osseragletschers im Hermencethal stehen wohl eine halbe Stunde vom Gletscher entfernt und haben 30 Met. Höhe.

9. Die Tannohütten im Annivierthal befinden sich auf einem alten Gletscherboden mit Morainenspuren in 1900 Met. Entfernung vom jetzigen Gletscher.

10. Die Orte Ried, Bodmen und Halten im Oberwallis liegen auf einer alten Moraine des mächtigen Vieschgletschers, der gegenwärtig um nicht weniger als 3800 Met. zurücksteht.

11. Vom Rhonegletscher abwärts zählt man nicht weniger als sieben deutliche Morainen, die in ungleichen Entfernungen bis 400 Met. hinabreichen ⁴¹.

12. Die schöne Moraine bei Kandersteg liegt eine halbe Stunde vom Oeschenengletscher, von dem sie vorgeschoben wurde, entfernt.

13. In gleicher Entfernung vom Des-Bois-Gletscher in Chamouny liegt die grosse bewaldete Moraine, die unter dem Namen der darauf gebauten Kapelle, *des Tines*, bekannt ist.

Solche Beispiele lassen sich aus allen Theilen der Hochalpen zahllose anführen.

⁴¹ Agassiz, Etudes, p. 147.

Alter der jetzigen Gletscher. — Aus welcher Zeit diese alten Morainen stammen, dafür fehlt es an jedem Maassstabe. Sie scheinen jedenfalls dem Aufenthalte des Menschen in diesen Gegenden, manche wohl der Existenz des Menschen auf Erden vorangegangen zu sein. Das älteste bestimmte Datum, das Gruner ⁴² über den Grindelwaldgletscher gesammelt hat, bezeichnet das Jahr 1540 als ein Minimum der Eisausdehnung; Felsen traten aus dem Eise hervor, die man sich nicht erinnerte gesehen zu haben und die auch später zu den Zeiten stärkster Verminderung nicht wieder erschienen. Aus der jährlichen Bewegung des fließenden Eises und der Länge des Gletschers lässt sich die Zeit berechnen, welche das am Ende abschmelzende Eis und die herabrollenden Blöcke nöthig gehabt haben, um von der Firnregion an ihr jetziges Ziel zu gelangen. Rechnet man die Länge des Aargletschers von der untern Firngränze an zu 8000 Met. und bis zur obern zu 16000 Met., die jährliche Bewegung zu 50 Met., so erhält man 160 und 320 Jahre; für den Des-Bois-Gletscher in ähnlicher Weise für ein Vorrücken von 100 Met. 70 und 140 Jahre. Diese Zahlen geben eine Vorstellung über das Fortbestehen des nämlichen Eises, lehren jedoch nichts über das wahre Alter der Gletscher, deren Gesamtmasse sich zahllose Male wieder erneuert haben kann. Rendu ⁴³ hat auf einer freilich sehr unsichern Basis, nämlich auf eine Vergleichung des Kubikinhaltes der Endmoraine mit demjenigen der ihr zum Ursprung dienenden Mittelmoraine als absolutes Maass, ein Alter von 500 Jahren herausgefunden.

Erratische Gletscher. — Mit den oben genannten Entfernungen werden indess die Gränzen der Gletscherwirkungen noch nicht erreicht. Gerundete Felsmassen (*Roches*

⁴² Gruner, die Eisgebirge etc.

⁴³ Rendu, Theorie, p. 119.

moutonnées), zumal wo kristallinische Gesteine die günstige Veranlassung dazu boten, Polituren und Furchungen fester geschützter Felsflächen, Theile ungeschichteter Morainen, bald an Berghängen sich hinziehend, bald grössern Bogen angehörend, schwebende Blöcke (*Blocs perchés*) vom Gletscher bei seiner Abschmelzung in den sonderbarsten Lagen und Stellungen zurückgelassen, wenig abgestossene und oft riesenhafte Blöcke, oder hinwieder glatte geritzte Rollsteine, die einen auf, die andern unter dem Gletscher fortgeschafft, gruppen- und zonenartige Anordnungen gleichartiger Trümmer entfernter, aber bekannter Stammorte u. s. f. sind sämmtlich Merkmale, welche dem aufmerksamen Beobachter, unter allen spätern Veränderungen, welche Natur und Menschenhand hervorbringen mochten, die frühere Gegenwart der Gletscher unzweideutig verrathen.

Obere Gränze der Gletscherspuren. — Im vertikalen Sinne reichen, zufolge den schönen Untersuchungen von Desor und Agassiz, die gerundeten polirten und gefurchten Flächen bis auf eine bedeutende Höhe von 600 Met. über dem jetzigen Gletscher⁴⁴. Vom Abschwung, in 2800 Met., senkt sich ihre Gränze am Rothhorn auf 2600, am Zinkenstock auf 2550, am Seidelhorn auf 2450 Met. und bezeichnet eine ungefähr mit 3 pro Cent nach dem Aarthal abfallende Linie, über welcher eine auffallende Zertrümmerung und eine auffallende rauhere Gestalt der Felsen beginnt. — In horizontaler Richtung lassen sich bestimmte Morainenreste durch alle sowohl nach Norden als nach Süden auslaufenden Alpenthäler herab bis in die Niederungen verfolgen, von Chamouny bis Genf⁴⁵, von der Grimsel bis

⁴⁴ Agassiz, *Système*, p. 583, 588. — Desor, *Excursions*, *Bibl. univ.* 1841, Mars et Avril, p. 93.

⁴⁵ Martins, *Actes de la soc. helvét.* 1845, p. 86.

Bern, vom Tödi bis Rapperswyl und Zürich. Man wird so ohne Sprung auf das grossartige erratische Phänomen geführt, das in weitem Umfange vom Alpengebirge ausstrahlte und die Blöcke desselben wunderbar unversehrt auf die Berghänge des Jura trug. Von Venetz ⁴⁶ zuerst mit der Bewegung der Gletscher in Verbindung gesetzt, rief dasselbe die wichtigen Werke von Charpentier und Agassiz hervor und wurde überhaupt die Veranlassung der gründlichen Untersuchungen über die Gletschererscheinung. Allein es gehört die Darstellung der erratischen Zeit, die jedenfalls eine der ersten, der grossartigsten und wunderbarsten Epochen der heutigen Schöpfung bildet, nicht in den Bereich des gegenwärtigen Aufsatzes, und es genügt daher, das verknüpfende Band der Gegenwart mit jener fernen Vergangenheit mit wenigen Worten angedeutet zu haben.

⁴⁶ Venetz, Charp. Essai, p. 243.

XII. Die Verbreitung der Gletscher.

Vorwort. — Die bisherige Schilderung der Gletscher und ihrer Eigenthümlichkeiten wurde der Alpenwelt entnommen. In der That stellt sich nirgends auf dem europäischen Continente die Gletschererscheinung vollständiger, grossartiger und der Beobachtung zugänglicher dar, als in dem mächtigen Zwischengebirge, das die Scheidemauer des mittlern und südlichen Europa's bildet. Nirgends sind die Bedingungen zur Erzeugung und Erhaltung der Gletscher, — ein zusammenhängend in die Schneeregion reichendes Relief, eine tiefliegende von Thälern durchschnittene Basis, endlich ein feuchtes an Niederschlägen reiches Klima, — in so bestimmter und ausgedehnter Weise ausgeprägt. Aber ein ausschliessliches Eigenthum der Alpen, wie etwa behauptet worden, ist die Gletschererscheinung nicht, denn sie findet sich, nach klimatischen und orographischen Verhältnissen modifizirt, sowohl in nördlichen als südlichen Gebirgen wieder; und vollends, wenn man sich nach den andern Continenten umsieht, tritt sie als ein allgemeines physikalisch-geographisches Moment allenthalben auf, wo für den stabilen Gang der Natur ein meteorologisches Ausgleichungsmittel zwischen der Hoch- und Tiefregion erforderlich ist. Einige Worte über die Gletschererscheinung anderer Länder werden diesen Ausspruch rechtfertigen.

Pyrenäengletscher. — Im westlichen Europa, nachdem sich die Alpenkette südlich gewendet, bilden die Pyrenäen die Hauptscheide der mittlern und südlichen Länder. Zwar weicht die Höhe der Schneegränze nicht bedeutend

von derjenigen in den Alpen ab, — auf der Nordseite steigt sie nach Ramond¹ auf 2728 Met., statt 2708 Met., auf der Südseite etwa 700 Met. höher; — dagegen aber erhebt sich das Gebirge massenhaft nicht so hoch und steigt, statt mit weiten Kesseln und Mulden, nur mit höhern Gipfeln und einzelnen Kämmen in die Region, in welcher die jährlichen Niederschläge nicht mehr verschwinden. Aus der Ferne erblickt das Auge kein durch eine gerade Linie abgegränztes Schneegebiet, sondern nur einzelne unzusammenhängende weisse Partien, die den felsigen Gebirgsumriss unterbrechen, und auf der Südseite Ende Sommers beinahe vollständig verschwinden. Charpentier² besonders hat die Eigenthümlichkeiten der Pyrenäengletscher im Gegensatz zu den alpinischen näher hervorgehoben. Etwas ausgedehnter finden sich Gletscher nur in dem höchsten Theile des Gebirges zwischen den Thälern der Garonne und dem Val d'Ossan, aber immer nur an den nach N. gekehrten oder im Schutze anderer Berge liegenden Abhängen. Da bildet die wenig entwickelte Eismasse, den Kämmen folgend, eine ungleich herab reichende Bekleidung des Abhanges, die nach der Breite, d. h. im horizontalen Sinne, eine oft bedeutende, nach der Länge hingegen, im Sinne des Abfalles, eine weit geringere Erstreckung zeigt.³ Zahlreiche transversale Spalten, oft zu mächtigen Schründen anwachsend und von dem ungleichen Herabsteigen der Eismassen herrührend, folgen gleichfalls der Haupterstreckung und machen die oft steilen Eisabhänge vollends unwegsam. Die Spalten im Sinne der Bewegung hingegen sind seltener und gewinnen allmählig

¹ Ramond, Ann. de Ch. II., p. 192. — Humb. Central-As. — II. p. 206.

² Charpentier, Essai sur la constitution géogn. des Pyrénées, Paris, 1823.

³ Charpentier, Essai, p. 51.

das Ansehen blosser Schneeschluchten. So erscheinen denn die Pyrenäengletscher nicht als die vorgeschobenen Ausläufer einer ausgedehnten Schnee- und Eisbedeckung des Gebirges, sondern als eine zusammenhängende Reihe secundärer Hängegletscher. Schwächer genährt, weniger ausgebildet und stärkern auflösenden Einwirkungen ausgesetzt als in den Alpen, reichen sie nicht so tief, nirgends aus dem rauhen Gebirge bis in die bebauten und bewohnten Thalgründe hinab.

Von den 6 wichtigsten Gletschern der Pyrenäen⁴ liegen 2 auf spanischem Boden, darunter der grosse Maladettagletscher, der eine Breitenerstreckung von 11700 Met. hat und bis 2286 Met., d. h. bis 487 Met. über die Sole des Val d'Essere, herabreicht. Unter den 4 französischen sind der Glacier de Crabioules und von Vignemale die mächtigsten. Am weitesten vom Gebirge entfernt liegt der Glacier de Néouville. Der freistehende Pic-du-Midi de Bigorre, seiner Höhe von 2312 Met. ungeachtet, bleibt frei von ewigem Schnee.

Gletscher in Spanien. — Die übrigen Gebirge der iberischen Halbinsel, obgleich mehrere derselben, vornehmlich im mittlern und südlichen Theile des Landes, ziemlich weit in die Höhe des ewigen Schnee's emporragen, entwickeln, durch ein noch stärkeres Vorwalten derselben Ursachen, keine Gletscher mehr. Selbst die Sierra nevada, deren Schneegränze auf dem Nordabfall in 2760 Met. sich

⁴ Diese Gletscher sind: 1. der Maladettagletscher, oben im Esserathal; 2. der Gl. v. Cabrioules, im Hintergrunde der kleinen Vallée de Lys; 3. der Gl. du M. Perdu im Grunde der Vallée de Béousse (Spanien); 4. der Gl. de la Brèche-de-Roland, im Hintergrund des Barègesthales; 5. der Gl. de Vignemale, oben im Val d'Ossone; 6. Gl. de Néouvielle zwischen dem Val de Barèges und der Vallée d'Aure. Charp., Essai, p. 53—58.

hinzieht, während der Gipfel des Cerro de Mulhacen 3470 Met. erreicht, bleibt davon frei. Einzig aus der Sierra de Gredos⁵, deren Gipfel auf 3000 Met. ansteigen, wird ein kleiner Gletscher genannt.

Gletscher Kleinasiens und des Caucasus.

— Geht man zu den zahlreichen Gebirgssystemen über, welche den breiten mittlern Gürtel des asiatischen Continents durchziehen, so scheinen, allen Berichten zufolge, Gletscher keineswegs in dem Umfange vorzukommen, wie man es nach der Höhe und geographischen Breite der Gebirge erwarten sollte. Von Kleinasien beginnend, haben Argæus und Ararat⁶ eine Höhe von 4023 und 5115 Met., die scharfgezeichnete Schneelinie liegt an ihnen in 3262 und 4318 Met.; dennoch spricht Parrot⁷ an letzterm nur von Schneestreifen, die bis 3800 Met. hinabreichen, aber nicht von Gletschern. Einerseits fehlen die hohen der Schneeanhäufung günstigen Bergkessel; anderseits bewirkt die Trockenheit der Luft eine solche Verminderung der Niederschläge, die Sonnenhitze eine solche Vermehrung der Abschmelzung, dass der gefallene Schnee verschwindet ohne vollständig zu vereisen. — Aehnliche Verhältnisse scheinen zum Theil noch für den Caucasus zu gelten⁸, dessen höchste Gipfel, der Elbrus (5636 Met.) und Kasbek (5037 Met.) die in 3200 und 3300 Met. hinlaufende Schneelinie um 2000 Met. überragen. Kolenati⁹ bei seiner von Osten ausgeführten Besteigung des Kasbek traf auf mehrere vom Schneegipfel des Berges durch Schluchten und Buchten des

⁵ Recueil de Voy. de la Soc. géogr. 1830, VIII.

⁶ Humboldt, Central-Asien, II. p. 205.

⁷ Parrot, Reise zum Ararat, p. 187.

⁸ Humboldt, Ann. de Chimie, XIV. p. 23.

⁹ Kolenati, Bull. de l'Acad. de St-Petersbourg, 1844, t. II, p. 260. — 1845, t. IV, p. 168.

Abhanges herabsteigende Firn- und Gletschermassen, die offenbar alle zu den Hängegletschern zweiter Ordnung gehören. Der Tschoharigletscher und die höher liegenden Zmindagletscher, unten von hohen Schuttwällen begränzt und Steintrümmer tragend, fliessen nach SO., der nur unten vergletscherte, höher aus geschichtetem Firnschnee gebildete Desdarokigletscher nach NO. in eine tiefe Schlucht, durch die er zeitweise tobend bis zum Terek hinabstürzt. Kole-nati beobachtete unten erweiterte Firnschründe von 4—5 Met. Tiefe, ächte Gletscherspalten von 19 Met., endlich einen Bergschrund von 64 Met. Tiefe. Seine Beschreibung ist ganz geeignet, den Maassstab zu geben, bis auf welche Stufe im Caucasus die Randvergletscherung an hohen Bergpyramiden gelangen kann. Die Eishölen, deren Dubois erwähnt,¹⁰ sind offenbar eine andere Erscheinung, verwandt mit den Eisgrotten des Jura.

Inner-Asien. — Das gleiche Zurücktreten der Gletscher scheint in noch höherem Grade den Gebirgen eigen, welche die Hochländer der Tartarei, Bucharei und Mongolei begränzen und durchsetzen. Von keinem der freilich nicht zahlreichen Reisenden geschieht der Gletscher Erwähnung. Die Luft über diesen weiten und kahlen, tief im Innern des grössten Continentes liegenden Steppen und Wüsten erreicht einen ausserordentlichen Grad von Trockenheit, wodurch die festen Niederschläge der grossen Winterkälte ungeachtet sich auf ein Minimum reduzieren; zugleich wirken die heftige Wärmestralung des Bodens und die heissen Winde des Sommers mit ausnehmender Stärke zur Wiederzerstörung derselben. Beides zusammen drängt die Schneegränze unge-

¹⁰ Dubois nennt solche bei Khotèvi und Ratcha, bei Tshartyr-dagh, Karabi-Yaïla, Chaïtankaïa. Voyages, II. p. 380. — V. p. 240, 440. — VI. p. 51.

wöhnlich in die Höhe und vermindert die Möglichkeiten der Gletscherbildung. Selbst der Altai und die Quellgebirge des südlichen Sibiriens scheinen die hohe Trockenheit des innern Asiens zu theilen und grösserer Gletscher zu entbehren.

Schneeegränze am Himalaja. — Um so merkwürdiger sind die Verhältnisse der ausgedehnten Gebirgssysteme, welche das innere von dem südlichen Asien trennen. Was Humboldt mit klarem Blicke aus einigen Messungen und Reiseberichten gefolgert¹¹, dass nämlich die Schneelinie auf dem Südabfall des Himalaja bedeutend tiefer liege als auf der Seite von Tibet, haben die neuern Beobachtungen von Hutton, Strachey, Cunningham u. s. f. vollkommen bestätigt, wenn auch die Zahlen je nach der Gegend etwas abweichen. An jeder einzelnen der parallel laufenden Ketten findet sich allerdings der ewige Schnee auf der Nordseite tiefer als auf der Südseite¹², indem der Einfluss der Orientirung, bei ungefährrer Gleichheit der übrigen Verhältnisse, wie begreiflich, vorwaltet; allein mit der Gesammterhebung des nördlichen Indiens steigt auch von einer Kette zur andern die Höhe der Schneelinie und erreicht ihr absolutes Maximum, ungeachtet der kleinern relativen Erhebung über dem Boden der Steppen, an den Gebirgen Tibets. Auf der Reihe der hohen Gipfel, der Hauptmasse des Gebirges nach Süden vorliegend, nimmt Cunningham (1849) als Resultat aller zuverlässigen Messungen über den mittlern Himalaja die Gränze des ewigen Schnee's zu 3372 Met. für die Nordseite und 3657 Met. für die Südseite an; auf dem tibetischen Abfall der Hauptmasse hingegen zu 5519 Met. und 6096 Met. Jedenfalls trifft man von dem mit Steppen und

¹¹ Humboldt, sur la limite infér. des neiges etc. Ann. de Chimie, 1820, XIV. p. 15 u. f.

¹² Cunningham, Ed. n. phil. Rev. XLVIII., 1850, p. 243. — Journ. of the As. soc. of Beng. N. Ser. XXXI. 1849, p. 694.

Hügeln bedeckten Tibet aus den bleibenden Schnee 2000 bis 2500 Met. höher, als wenn man von dem fruchtbaren indischen Südfall ansteigt, eine Anomalie, welche theils von der zunehmenden Trockenheit und der Verminderung der Niederschläge herrührt, wenn man sich aus dem Bereiche der feuchten Monsoons¹³ und der grössern Vegetation entfernt, theils von der intensiven Sommerhitze und starken Radiation der Steppenflächen.

Gletscher im Himalaja von Cashemir. — Eigentliche Gletscher zweiter Ordnung hat schon Jacquemont¹⁴ nicht allein aus den nördlichen, selbst aus der südlichen Kette des Cashemir-Himalaja beschrieben. Durch Schneestürze häuft sich das Material in Schluchten und Thälchen, die unter die in 5000 Met. liegende Schneelinie herabsteigen. Die Masse schmilzt und durchtränkt sich während 7—8 Monaten und gefriert dann während des ziemlich kalten Continentalwinters zu einem zusammenhängenden, kleine Luftblasen haltenden Eise. Bewegung und Seitenmorainen scheinen diesen kleinen Gletschern zu fehlen; dagegen bedecken sie sich mit Trümmern und Erde, was zur Erhaltung des Eises beiträgt, und tragen dann wohl eine auf dem feuchten Grunde üppig sich entwickelnde Pflanzendecke.

Gletscher im Kumaon und Gurhwal-Himalaja. — In dem von Strachey¹⁵ untersuchten Theil des Gebirges, dem Kumaon und Gurhwal-Himalaja, bildet der bleibende Schnee einen 56 Kilom. breiten Gürtel, der nur auf wenigen Punkten unterbrochen ist. Sowohl an dem nördlichen, als an dem südlichen Abfall ziehen sich zahlreiche

¹³ Thomson, Edinb. n. ph. J., Oct. 1851. — Apr. 1852, p. 311.

¹⁴ Jacquemont, Voyages, II. p. 298.

¹⁵ Strachey, Journ. of the As. Soc. of Beng. N. Ser. VIII. p. 794.
— Berghaus geogr. Jahrb., II. p. 34.

Gletscher in die Thäler hinab. Zwei derselben, in der Nähe des 7600 Met. hohen Nanda-Newi gelegen, beide nach Süden abfliessend, sind der Gegenstand genauer Untersuchungen geworden. Der eine, der Kuphinie, reicht bis 3444 Met., der andere, der Pindurgletscher, bis 3657 Met. herab, der erste also um 1128 Met., der zweite um 914 Met. unter die Schneelinie, welche Strachey in dieser Gegend auf 4571 Met. annimmt. — Der Kuphiniegletscher z. B. entsteht aus zwei von NW. und O. kommenden Zuflüssen, von denen der eine mit Gletscherbrüchen herabsteigt, der andere selbst wieder aus zwei Armen zusammengesetzt ist. Nach ihrer Vereinigung ziehen sie sich als eine lange Gletscherzunge mit einer Neigung von $7\frac{1}{2}^{\circ}$ durch ein grünes und felsiges Thal. Die beiden Seitenmorainen und die aus der Vereinigung der beiden Zuflüsse entstandene Mittelmoraine werden immer mächtiger und verhüllen zuletzt ganz das Eis. Ein Gletscherbach rauscht aus der Terminalhöhle, ein anderer folgt ausserhalb der einen, mächtigern Seitenmoraine. Die starke Abschmelzung bezeugte sich durch zahlreiche Wasserrinnen und Wasserwannen, unvollkommene Gletschertische, endlich durch die schon im Mai etwas eingesunkene Gestalt der Eismasse, die überdiess von den Seiten schief aufwärts und am Ende radial von Spalten durchsetzt war. Man erkannte gleichfalls die Struktur aus wechselnden Bändern von weissem und blauem Eise, die von der Mitte nach der Seite und von oben nach unten hin sich immer flacher legte. Zuletzt bestimmte Strachey im Mai 1845 als Mittel von 5 Stationen auf der Breite des Gletschers die tägliche Bewegung und fand:

Unterer Theil Moraine 121,9^{mm}; Mitte 338,7^{mm}

Oberer „ „ 134,6 „ 269,2

eine Bewegung, deren Stärke mit derjenigen der grössern Schweizergletscher in Einklang steht. An der nämlichen

Stelle war das Vorrücken an verschiedenen ungleich warmen Tagen

bei 6,1 C⁰, täglich 302,2^{mm}

„ 3,3 „ 223,5

also grösser an wärmern, kleiner an kältern Tagen. Der Fels des Gletscherbettes war von der Verschiebung abgenutzt und geritzt. — Alle diese Erscheinungen sind eine so vollkommene Wiederholung dessen, was man in den Alpen beobachtet, dass man die Beschreibung fast wörtlich auf mehrere Schweizergletscher anwenden könnte. Und ähnlich scheint es sich mit den zahlreichen Gletschern des östlichen Sikkim und des westlichen Ladag-Himalaja zu verhalten, von deren mächtigen Morainen und bedeutenden Schwankungen in den Berichten von Hooker¹⁶ und Thompson¹⁷ Erwähnung geschieht.

Die Gebirge der neuen Welt. — Mehr gegen den Aequator scheint, in der neuen Welt wenigstens, nach Humboldt und Boussingault, die Bildung von Gletschern nur selten möglich.¹⁸ Obgleich zahlreiche Gipfel in den Cordilleren von Mexico, von Neu-Granada, von Quito und Peru bis auf 4500 und 4800 Met. hinab mit ewigem Schnee belegt sind,¹⁹ vermag sich derselbe doch nicht massenhaft zu sammeln und in Bewegung zu setzen. Hohe Bergpyra-

¹⁶ J. D. Hooker, Geogr. Jahrb., 1850, p. 1.

¹⁷ Thompson, Geogr. Jahrb., 1850, p. 63.

¹⁸ Humboldt, Ann. d. Chimie, XIV. p. 33, 40.

¹⁹ Humboldt unterscheidet vom Aequator in den nördlichen Anden folgende in die Schneeregion ragenden Berggruppen: die der Provinz Los Pastos (0⁰ 50' N. Br.), der Vulcan von Popayan (2⁰ 46'), des Passes von Quiadin (4⁰ 35'), der Sierra Merida (7⁰ 58'), der Sierra de Sta. Marta (10⁰ 35'); in den südlichen Anden, nach der Riesengruppe von Quito, diejenige der Provinz Guamachuco (7⁰ 50' s. Br.), des Gebirgsknotens von Parco und Huanuco (10⁰ 50'), derjenigen von Couzco (13⁰ 50') und von Porco (18⁰ 45'), endlich von Chili.

miden, deren Zwischenjoche die Schneegränze wenig oder nicht übersteigen und von allen Seiten den auflösenden Agentien ausgesetzt sind, erweisen sich auch in der gemässigten Zone als ungeeignet, andere als kleine Gletscher zweiter Ordnung hervorzubringen. Dazu kommt die Geringfügigkeit der Niederschläge in einer Höhe, welche die feuchten Seewinde überragt und die geringe Vereisung unter einem regelmässigen Klima wie das der Tropen, dem die thermischen Gegensätze der Jahreszeiten, die starken Wechsel von Hitze und eingreifender Kälte grossentheils abgehen ²⁰. Der Schnee verbleibt und erschöpft sich auf der Stufe des Firnes, ohne zu festem Gletschereise zu werden. Immerhin scheinen diese Umstände nicht so absolut hindernd zu wirken wie die heisse Trockenheit der asiatischen Centralländer. In der That sind in neuerer Zeit, der frühern Meinung entgegen, selbst unter den Tropen einzelne sekundäre Gletscher entdeckt worden. Es beschreibt z. B. Acosta ²¹ in der unter 11° nördlicher Breite liegenden, der Feuchtigkeit des caraibischen Meeres ausgesetzten Nevada de Sta. Marta einen wirklichen Gletscher, der von dem 5500 Met. hohen Gipfel punkte unter die in 4687 Met. liegende Schneegränze herabsteigt und in seinen Spalten, seinen getragenen Blöcken, seiner geritzten Unterlage, seinen ältern Morainen die bestimmten Beweise einer regelmässigen Bewegung aufweist.

Dem nördlichen Amerika fehlen bis zu grössern Breiten sehr hohe massenhafte Gebirge zur Entwicklung der Gletschererscheinung. Selbst aus den Rocky-Mountains, an denen die Schneegränze in 3800 Met. Höhe ²² hinläuft, hat man keine Berichte. Man muss sich wieder nach Europa

²⁰ E. de Beaumont, Ann. des sc. géol. par Riv. 1842.

²¹ Acosta, Bull. de la soc. géol. de Fr. IX. 1852, pag. 396.

²² Mahlmann, Humboldt Central-Asien II, p. 207.

wenden, will man die Abstufung des Gletscherphänomens von der gemässigten nach der kalten Zone verfolgen.

Die Schneefelder Norwegens. — Die skandinavische Halbinsel, in vielen andern Beziehungen wichtig für die physikalische Erdkunde, hat durch die Schilderungen von Leop. v. Buch ²³, von Wahlenberg ²⁴ und Naumann ²⁵ gleichfalls mit Rücksicht auf seine Eisfelder und Gletscher Bedeutung erhalten. Weite Strecken des norwegischen Hochlandes, das nach der Nordsee so wunderbar in Scheeren zerrissen und zerschnitten ist, erheben sich in die unter diesen Breiten weiter hinabsteigende Region des ewigen Schnees. Von dem südlichen nach dem nördlichen Norwegen senkt sich die Schneeegränze, erst langsam, dann schneller von 1559 Met. auf 712 Met., ohne selbst am Nordcap den Meeresspiegel zu erreichen. Zugleich steigt sie von der norwegischen Küste nach dem Innern des Landes und nach Schweden hin um 100—150 Met., auffallender Weise entgegen dem, was die abnehmende Jahrestemperatur der Luft erwarten liesse. Leop. v. Buch ²⁶ hat den Grund dieses scheinbaren Widerspruches in den reichlichen Niederschlägen und den beständigen Nebeln gefunden, welche die feuchte Luft der Nordsee an der kalten Hochfläche der Küste ausscheidet und wodurch die Schneemenge vermehrt, die auflösende Wirkung der Sonne hingegen vermindert wird. So erklärt sich auch, dass die vier

²³ L. v. Buch, Ueber die Gränzen des ewigen Schnees im Norden. Gilb. Ann. 1812. Vol. 41, p. 5.

²⁴ G. Wahlenberg, Bericht über Messungen und Beobachtungen zur Bestimmung der Höhe und Temperatur der Lappl. Alpen, übers. von J. F. L. Hausmann. Göttingen 1812.

²⁵ Naumann, zur Kenntniss von Norwegen, 1824. — Leonh. Taschenb. 1823, p. 129.

²⁶ L. v. Buch, Gilb. Annal. XL, p. 17 u. f.

bedeutendsten, mehrere Quadratmeilen umfassenden Schneefelder — vom Normannen Fonde genannt — der Küste und nicht dem Innern des Kiölengebirges angehören. Es sind der Folge- und der Justedals-Fond in den Aemtern Berghuus, unter 60 und 61° der Breite, die mit dem Sulitelma nördlich zusammenhängenden Schneeberge, unter 67 und 68°, endlich der zu Finnmarken gehörende Jöckullfieldt²⁷ über dem gleichnamigen Fiord.

Alle diese Schneefelder theilen den nämlichen Charakter. Von jenen hohen Bergkesseln, welche in den Alpen als grosse Sammler des Schnee's und dem Gletscher als Wurzel dienen, ist hier nicht die Rede; eine gleichförmige, ununterbrochene Schneedecke, aus der nur einzelne dunkle Klippen und höhere Gipfel emportauchen, überdeckt auf unbekannte Tiefen alle Ungleichheiten des Hochlandes und gleicht sie zu einer kuppelartig gerundeten oder grosswellig abfallenden Fläche aus. Unter einer dünnen Eisrinde, dem Produkt der täglichen Abschmelzung und des nächtlichen Gefrierens, beginnt lagenweise geordnet eine aus Eiskörnern locker konglomerirte Masse, deren Dichte nach der Tiefe unter dem wachsenden Druck zunimmt²⁸. Gletschereis trifft man auf den Hochflächen nirgends, nirgends zackige Eisformen, nirgends Trümmer, höchst selten nur einzelne Risse; alles erinnert an die Einförmigkeit der weiten Firnmulden, deren Oberfläche sich jährlich bleibend erneuert und daher nur geringe Spuren der Bewegung zeigt. Erst an den Rändern des Hochlandes, wo die mächtige Schneedecke entweder an hohen Felsabstürzen abbricht, oder auf steilere Abhänge gelangend sich vielfach zerklüftet, oder endlich in zahllose Schluchten und Thäler ausläuft, tritt unter dem Firne das

²⁷ L. v. Buch, *Gilb. Annal.* XLI, p. 28.

²⁸ Naumann, *Leonh. Taschenb.* XVII. 1823, p. 136.

dichte Eis hervor²⁹ und entwickelt dann alle Erscheinungen der eigentlichen Gletscher, der Bräer der Norwegen.

Justedals Eisberge. — Von den norwegischen Gletschern kommen keine denen gleich, welche von Justedals hohen Eisbergen (bis 1950 Met.) in die tiefen Thälrisse hinabreichen und durch den Gegensatz ihres blauschimmernden Eises mit den dunkeln Felswänden und dem Grün des Thalgrundes wunderbar abstechen³⁰. Der Lodalgletscher geht bis auf 577 Met., der Nygaardgletscher bis 340 Met. hinab. So wenig die Kenntniss der Gletscher zu Naumanns Zeit in mancher Hinsicht noch vorgeschritten war, erkennt man doch in seinen Schilderungen die wesentlichen Züge der Alpengletscher. Das ungleiche Ansehen der Gletscher, abhängig von ihrer Bewegung über einem sanftern oder steilern Boden, die durch die Gestalt des Grundes vorgeschriebene Zerklüftung nach Seiten- und Querspaltten, die mannigfachen Wirkungen der Abschmelzung (Einsinken kleiner Gegenstände, Erhebung von Schuttkegeln, Wasserrinnen, Mühlen, ausgewaschene Furchen und Rinnen), die Anhäufung von Trümmern in lange Rand-, auf dem Eise herabsteigende Mittel- und vorgeschobene Endmorainen, die Abnutzung und Kahlheit der vom Gletscher zurückgelassenen Felsen u. s. f. — alle diese Eigenthümlichkeiten werden gelegentlich bei dem einen oder andern jener Gletscher³¹ genannt und sie enthalten auch ohne bestimmte Messungen den genügenden Beweis, dass auch hier das Eis in einer steten theils fließenden, theils gleitenden Bewegung begriffen sei.

²⁹ L. v. Buch, Gilb. Ann. XLI, p. 17.

³⁰ Naumann, Beiträge II, p. 172—244. — L. v. Buch, Gilb. Ann. XLI, p. 21.

³¹ Naumann nennt besonders den Berset-, den Nygaard-, den Biørnestege-, den Lodal-, endlich den Frangedal-Bräe.

Die Gletscher des Sulitelma. — In einigen Punkten noch einlässlicher ist der ältere Bericht Wahlenberg's ³² über die Schnee- und Eisfelder an und zunächst dem Sulitelma, der 1730 Met. Höhe hat und von welchem zahlreiche Gletscher, von den Lappen Jegna genannt, in das Thalland niedersteigen ³³. Bauchig in einander greifende und abfallende Flächen, an denen die Ungleichheiten des Grundes nur durch sanfte Einsenkungen oder Brüche erkannt werden, umschliessen die höher emporragenden steilern Gipfel. Dem obern Rande der Anhäufung folgen ungeheure Transversalklüfte, welche, der Firnkluft analog, die obere Gränze der massenhaften Bewegung andeuten. Wahlenberg erörtert namentlich zwei Punkte genauer: erstens die Umwandlung des pulverigen beweglichen Schnees durch Druck und Wasseraufsaugung, in den höhern Regionen in festen körnigen Schnee (Firn), in den untern in dichtes, sich körnig lösendes undurchsichtiges Gletschereis, das aller Schichtung ermangelt; zweitens dann die Entstehung der Spalten und Brüche durch ein massenhaftes Gleiten oder Kriechen des Gletschers über convexe Stellen der Abhänge, wobei die übergestürzten Quadern, die Piramiden und Zacken der Brüche veranlassen. Er spricht gleichfalls von der Aufwühlung und Erweichung der Morainen, von der steten Trübung der Gletscherbäche u. s. f., kurz man sieht, dass zu Wahlenberg's Zeit (1807) die Kenntniss der nordischen Gletscher eben so weit, wenn nicht weiter, als diejenige der Alpengletscher gediehen war. Freilich die gegenseitige Beweglichkeit der Theile, eines der schönsten Ergebnisse der neuern Untersuchungen, kannte er so wenig als die übrigen ältern Forscher, zumal diese Erscheinung in den weiten Eis-

³² G. Wahlenberg, Bericht, p. 15 u. f.

³³ Der Sulitelma-, der Sala-, der Tulpa-, der Almajalos-Jegna.

bedeckungen weniger augenfällig als in einzelnen langen Gletscherzungen hervortreten musste.

Das Gleichgewicht der nordischen Eismassen.

— Eine interessante Frage knüpft sich an die Verhältnisse der norwegischen und überhaupt der nordischen Gletscher, ob sie nämlich genügen, das Gleichgewicht zwischen den höher fallenden Niederschlägen und der tiefern Abschmelzung herzustellen? Wenn man die Ausdehnung und die oft flache Gestalt der obern Firnflächen mit der verhältnissmässigen Geringfügigkeit des am Rande erfolgenden Abflusses durch Gletscher und Eisstürze zusammenstellt, so möchte man wirklich mit Naumann ³⁴ an ein langsames Wachsen der Schneefelder, an eine noch jetzt fortschreitende Erhöhung der unbekannt tiefen Firnmasse glauben. Es müsste diess, da die Erhöhung des Firnes auf den abfliessenden Gletscher zurückwirkt, eine Vermehrung seiner Mächtigkeit und damit auch seiner Ausdehnung zur Folge haben. Freilich hat Naumann 1822 die Gletscher von Nygaard und Bjørnesteig ³⁵ von ihren letzten Morainen um 410 und 1130 Met. zurückgewichen gefunden, nichts desto weniger scheint in den letzten Jahrhunderten eine bedeutende Vermehrung stattgefunden zu haben; in zehn Jahren allein soll der Nygaardgletscher um 195 Met. gewachsen sein. Naumann und Leop. v. Buch führen amtlich beglaubigte Fälle von Hütten und Feldern an, die von den vorrückenden Eismassen auf immer verschlungen wurden. Indess genügen Thatsachen, die sich nur auf einzelne Abflüsse beziehen, zur Beantwortung der Frage nicht, und es bedürfte dazu fortgesetzter genauer Messungen über die jährliche Erhöhung der Schneefelder und die Kleinheit ihrer Bewegung.

³⁴ Naumann, Leonh. Taschenb. 1823, p. 139.

³⁵ Naumann, Leonh. Taschenb. 1823, p. 164.

Dass auch die hochliegenden Finmassen der nördlichen Schneefelder in steter Bewegung begriffen sind, beweisen sowohl die Eismassen, welche von dem hohen Jökulfieldt mit Gewalt und in Menge in das wildbewegte Meer hinabstürzen, dass dieses weit auf das Ufer schlägt ³⁶, als die von Wahlenberg am hohen Sulitelma beobachteten Firnschründe. Solcher aus der Bewegung entstehenden Risse und Klüfte würden ohne Zweifel weit mehrere gefunden, wäre die etwas lockere Firnmasse nicht des Nachgebens fähig und würde ihre Oberfläche nicht jährlich durch eine alles verhüllende Schneelage erneuert. Die Natur scheint auch hier immer mehr nach einem Gleichgewichtszustande hinzustreben, hat sie ihn im Laufe der Jahrtausende auch noch nicht vollständig erreicht. Das Mittel dazu liegt aber vorzüglich in dem Einfluss der Masse auf die Bewegung. Wo der Abhang zu schwach ist, wächst die stagnirende Masse allmählig an, bis am Ende die vermehrte Bewegung genügend wird, die jährliche Vermehrung zu compensiren. Zudem bedarf es wegen der definitiven Reduktion der jährlichen Schneeschicht auf eine Eisschicht von wenigen Zollen hiefür keiner bedeutenden Bewegung, einer um so kleinern, als der Querschnitt der bewegten Massen grösser ist.

Die Gletscher auf Island. — Mit dem gleichen Charakter wie in Norwegen bedeckt auf Island unter denselben geographischen Breiten eine zusammenhängende Schnee- und Firndecke die höhern Theile der Insel. Die vollständigste Beschreibung dieser Schneegefülde verdankt man Sartorius v. Waltershausen ³⁷, der sie kurzweg Gletscher, isländisch Jökull, nennt. Sie haben über der Schneelinie,

³⁶ L. v. Buch, Gilb. Ann. 1852. XLI. p. 28.

³⁷ Sart. v. Waltershausen, Edinb. n. phil. Journ. Apr. — Oct. 1848, p. 129, 281.

die sich immer noch auf 1300 Met. Höhe hält, eine Ausdehnung von 54 Quadratkilometer und senden unterhalb dieser Linie eigentliche Gletscher aus, von denen mehrere, wie selbst auf der Südküste der Fall-Jökull, den Küstenverkehr unterbrechend, bis an das Meer vordringen. Die ausgedehntesten Schnee- und Eisfelder, der Klofa- und Vatna-Jökull, nehmen den Südosten, die gleichfalls sehr bedeutenden Lange- und Hof-Jökull das innere Hochland der Insel ein. Bei Gelegenheit des Arnarfells-Jökull, der zum östlichen Theil des Hof-Jökull gehört, spricht Sartorius ³⁸ von den tiefblauen Spalten, welche die nie getrübe Firndecke durchsetzen, von der vorzüglich im Sommer stattfindenden Bewegung der Gletscher, von der Neigung der Eisfläche, die im Mittel gegen 10^0 beträgt, von den am Ende der Eiszunge sichtbaren Strukturlinien, von den steilern Seiten- und Terminalabfällen des Gletschers, von den Seiten- und Endmoränen, endlich von der Politur der Felsen. Es sind immer dieselben Erscheinungen, welche auch den Firn und Gletscher der Alpen charakterisirten, nur dass je weiter nach Norden, desto mehr der Einfluss der Schmelzung und Durchtränkung auf die Gestalt der Masse, die Vereisung und die Bewegung neben den einfachern Wirkungen des Druckes aus der Schwere zurücktreten.

Die Eisberge der Polargegenden. — Von Norwegen und Island noch weiter nach dem Pole vordringend, sinkt endlich die Schneeegränze auf den Meerespiegel herab, und das Gletscherphänomen erreicht zwischen einer allgemeinen Schnee- und Eisbedeckung entwickelt sein letztes Stadium. Von den englischen Reisenden nach den Polargegenden, Parry, Ross, Scoresby, Franklin u. s. f., wird der Unterschied von Firn und Eis nicht mehr gemacht.

³⁸ Sart. v. Waltershausen, Ed. n. phil. J. Apr. 1848, p. 137.

In der That scheint das blaue, von Wasser durchzogene Eis zu fehlen, und, neben wahrem Wassereis eine vornehmlich durch Druck und Alter verdichtete, weisse undurchsichtige Masse die oberflächlich und nach der Höhe hin in Firn- und Pulverschnee übergeht, vorzuwalten.³⁹ Merkwürdig aber muss es erscheinen, in Mitte der allgemeinen Schnee- und Firnbekleidung, welche nur von einzelnen Klippen und Felsstufen unterbrochen, kaum von einigen Geschöpfen belebt wird, überhaupt ein Bild vollkommenster Erstarrung darstellt, doch wieder mächtige Eismassen zu treffen, die, gehäuft und verdichtet in den Einsenkungen des Landes, in steter fortschreitender Bewegung begriffen sind. Kotzebue an dem Westende von Nordamerika, Ross und Scoresby in der Baffinsbay, Martins von Spitzbergen führen zahlreiche Beispiele an, dass eben aus den Buchten des Landes, entsprechend den Thalöffnungen des Bodenreliefs, feste, an den Seiten steil abfallende, an der Wurzel mit dem Eise des innern Landes zusammenhängende Eismassen, wie Zehen in das Meer hinauswachsen und sich, trotz der Zerstörung, welche letzteres bewirkt, immer wieder erneuern.

Die Gletscher auf Spitzbergen. — Von den Spitzberggletschern, die als Norm für die Gletschererscheinung der Polarländer gelten können, hat man einlässliche Schilderungen von Scoresby⁴⁰, von Latta⁴¹, besonders von Martins⁴², dem auch die Alpengletscher vollkommen bekannt sind, erhalten. Die meisten Buchten der vielfach ausgeschnittenen Küste sind in ihrem Hintergrunde mit Gletschern angefüllt, die von den 1200 Met. hohen Bergen des innern Landes herabsteigen. So z. B. finden sich, neben mehreren

³⁹ Martins, Bibl. univ. 1840, p. 15.

⁴⁰ Scoresby, an account of the arctic region, 1820.

⁴¹ Latta, Ed. n. phil. J., V, 1827, p. 95.

⁴² Martins, Bibl. univ., Juli 1840.

kleinern, zwei grössere Gletscher in Bellsound, drei in der Magdalenenbay, sieben in der Sevenhillsbay. Der längste von ihnen, in Bellsound, hat gegen 16000 Met. Länge auf 5300 Met. Breite, der kleinste 680 Met. auf 240 Met. Es sind hiernach keine langen Gletscherzungen mehr, sondern längliche Vorsprünge der innern Firn- und Eismasse, die mit 10—20° Neigung in das Meer heraustreten. Bei der grossen Mächtigkeit der Masse wirken die Unregelmässigkeiten der Unterlage nur wenig auf die Oberfläche des Eises ein, welche von keinen Brüchen und wenigen Spalten unterbrochen, kaum von der Schmelzung angegriffen, stets durch neue frische Schneelagen ausgeglichen, die grösste Gleichförmigkeit zeigt. Am Magdalenengletscher beobachtete jedoch Martins bis 6 Met. weite und 20 Met. tiefe Querspalten, die sich mit Eis und Firntrümmern anfüllten und deren Wände, wie man es auch an den norwegischen Gletschern beobachtet, von funkelnden Eisstalaktiten prangten. Das Eis, oberflächlich rauh und glasirt wie der Firn, zeigt in Hölen die gewöhnliche Azurfarbe und enthält im Innern streifenweise kleine Luftblasen als Rückstand seines Ursprunges aus lockerem Schnee. Haarspalten und damit auch jede Kornstruktur fehlen, dagegen ist die Oberfläche bisweilen wie Nagelkalk auf 14 — 30 Centimet. Tiefe zapfenartig abgesondert⁴³, vermuthlich in Folge einer starken Contraction durch Kälte. Verunreinigungen durch Schutt und Trümmer aus den höhern Bergen erscheinen nur am Rande des breiten Gletschers, dessen stets convexer Rücken vollkommen rein bleibt, dann aber in allen Höhen des Eises eingebettet.

Die Bewegung der Polargletscher. — Es ist kein Zweifel, dass auch die Polargletscher, wenigstens die grössern, in Bewegung begriffen sind und wie in den Alpen,

⁴³ Martins, Bibl. univ., Juli 1840, p. 16.

wenn auch langsamer, die höhern Schneemassen nach der Tiefe führen. Wie dieses aber möglich wird auf einem Boden, der an freien Stellen in 1 Met. Tiefe das ganze Jahr festgefroren bleibt und unter dem Gletscher jedenfalls — 3 bis — 5° C. Kälte hat,⁴⁴ unter einem Klima, das der Schmelzung nur wenige Wochen einräumt, keine Quellen mehr fließen lässt, keine Ablösung und Unterhölung des Eises mehr gestattet, mit einer Masse, welche durch keine Absonderungen, keine Ablation, keine Durchtränkung beweglich gehalten, einer unveränderlichen Felsmasse ähnelt, ist schwer zu begreifen. Ob die Schwere, kraft ihrer anhaltenden Wirkung, unterstützt durch die Höhe der Eislasten und den steilen Abfall der Thalsole, für die Bewegung genügt, lässt sich kaum entscheiden, da es an jedem sichern Anhaltspunkte fehlt. Martins⁴⁵ setzt das Vorrücken ausschliesslich in den Sommer⁴⁶ und nimmt zu der für die Schweizergletscher verlassenen Theorie von Toussaint de Charpentier seine Zuflucht, nach welcher die in den Querspalten gesammelte Ausfüllungsmasse durch ihr Gefrieren die rückwärts gegen die steilen Berghänge sich stemmende Eiszunge vorwärts schiebt. Allein eben die Entstehung der Spalten ist eine Folge der Bewegung und verlangt also eine der Anfüllung und dem Gefrieren vorausgehende Ursache. —

Die Zerstörung der Polargletscher. — Die eigenthümlichste Erscheinung der Polargletscher ist ihre Zerstörung, wozu unter solchen geographischen Breiten die Ablation kaum merklich beiträgt. Während sich die herabgeführten Eismassen in den Alpen durch Abschmelzung allmählig erschöpfen, wachsen sie hier bei ihrem Fortschreiten durch neue Niederschläge immer mehr, bis endlich das Meer die

⁴⁴ Martins, a. a. O., p. 31.

⁴⁵ Martins, a. a. O., p. 33.

⁴⁶ Martins, a. a. O., p. 27.

Zerstörung vollbringt. Die Meinung der ältern Reisenden, dass der Gletscher auf dem Grunde des Meeres festsitze und nur mit seinem Rücken aus dem Wasser hervorrage, setzt eine Kälte des Wassers voraus, die bei Spitzbergen nicht vorhanden ist, eine Dicke der Eismasse, die ihrer Mächtigkeit auf dem Lande nicht entspricht, und lässt sich nicht mit der Meerestiefe in Einklang bringen, welche man oft zunächst an dem Gletscherrande findet. Martins⁴⁷ bemerkt, dass, abgesehen von einzelnen schwimmenden und zufällig festgehaltenen Eisklippen, der vortretende Gletscher unterhalb durch das im Sommer auf 1 — 3° stehende wärmere Wasser geschmolzen und zerarbeitet werde, daher den Spiegel desselben überspanne und nur von der Wurzel und den Seiten her gehalten werde.⁴⁸ Ob dieses merkwürdige Verhältniss für die ganze vorspringende Eismasse gelte, bleibt dahingestellt; jedenfalls zeigt es sich am Ende des Gletschers, wo derselbe mit einem verticalen 30 — 120 Met. hohen Absturze ins Meer abbricht. Die stete Unterwühlung ist Schuld, dass von Zeit zu Zeit ungeheure Scherben und Scheiben der Eiswand sich lösen und in die Tiefe des Meeres hinabgleiten. Nach augenblicklichem Verschwinden tauchen sie oszillirend wieder theilweise hervor und bilden nun die gewaltigen schwimmenden Eisklippen, welche die Polarmeere durch ihre wunderbaren Gestalten und blendenden Flächen so eigenthümlich zieren, den Schiffen durch ihre unregelmässigen, schwankenden und drehenden Bewegungen so gefährlich werden. In den hohen Breiten also, wo Luft und Sonne machtlos bleiben, übernimmt das Meer mit gewal-

⁴⁷ Martins, a. a. O., p. 22.

⁴⁸ In noch höhern Breiten, wie in der Bastinsbay, scheinen die in das Meer vortretenden Gletscher doch auf dem Grunde desselben zu ruhen, indem die Wärme des Wassers zur Auflösung der untern Eismasse nicht genügt.

tigem Zahn die beständige Zernagung und Zertrümmerung und trägt die zahllosen Trümmer so lange auf seinem Rücken einer wärmern Zone zu, bis auch sie einer vollständigen Auflösung unterliegen.

Das Innere der Polarländer. — Wenn jenseits der Linie, wo der ewige Schnee die Fläche der Erdkugel erreicht, die Zerstörung der Gletscher nicht anders als durch den Angriff des Meeres möglich ist, wie verhält es sich denn mit dem Innern der Polarländer, wo auch diese Ursache wegfällt? Die Beobachtung hat auf diese Frage keine Antwort, denn nur das Meer hat dem Menschen einen ohnehin schwierigen und mühevollen Zugang zu den höchsten geographischen Breiten geöffnet, damit aber auch den Bereich seiner Forschungen auf ein schmales Küstenland beschränkt. Nur eines von beiden scheint möglich: entweder bleibt in der That die jährliche Schicht der festen Niederschläge, wenn auch auf eine geringe Höhe verdichtet, ungestört liegen und die Eiskruste wächst allmählig zu einer unbekannten Höhe, oder, besteht auch hier ein Gleichgewicht, so müssen, in der stets kalten Luft, entfernt von dem wärmern Meere, die Niederschläge sich auf ein so geringes Maass reduzieren, dass die von keinen Küstennebeln gehinderte Sonne durch ihre direkte Wirkung sie zum Verschwinden bringt. Der meteorologische Gegensatz, der schon in Norwegen zwischen der Küste und dem Innern des Landes auffallend hervortrat, würde sich hier noch bestimmter und schärfer ausprägen. Dank der schiefen Stellung der Erdaxe gegen die Richtung der Sonnenstrahlen, bleibt keine Stelle der Erdkugel dem Einfluss der Sonnenwärme so vollständig entzogen, dass sie nicht wenigstens einige Zeit des Jahres von ihr unter einem Winkel von 23° getroffen würde.

Schluss. — Wie dem auch sei, die Rundschau, die im vorigen über die Verbreitung der Gletschererscheinung

und über die Modifikationen derselben von den Gegenden des Aequators bis zu denen der Pole, freilich unvollständig genug, versucht worden ist, stellt hinlänglich heraus, welchen nicht unwichtigen Zweck sie im regelmässigen Gang der gegenwärtigen Schöpfung zu erfüllen bestimmt ist. Unter den Tropen, in Folge der Energie der auflösenden Ursachen, in den Polarländern, wegen der Geringfügigkeit der Niederschläge, bedarf es keines besondern Mittels, um die festen Niederschläge zur Auflösung zu bringen; wo hingegen die klimatischen Verhältnisse von der einen oder andern dieser beiden Bedingungen abweichen, erscheint sofort der Gletscher als der Vermittler zwischen der Anhäufung und Vernichtung derselben. Der Schnee verdichtet sich durch Druck und Durchtränkung zu Firn und Gletschereis, die Masse fliesst und verschiebt sich nach der Richtung der Abdachung, und Luft, Sonne und Wasser vollenden in der tiefern Gegend das Werk der Zerstörung. Vereisung, Bewegung und Auflösung sind allenthalben die drei Prozesse, welche das wahre Wesen des Gletschers bezeichnen und alle seine übrigen Erscheinungen beherrschen.

Inhalt.

- I. Einleitung Seite 1
Die Alpenkette Seite 1. — Die Alpenregionen 1. — Die Schneeregion 2. — Die Schneeegränze 3. — Die Gletscher 3. — Die Bedeutung der Gletscher 4. — Das Fortbestehen der Gletscher 4. — Arbeiten über die Gletscher 5.
- II. Die Gletscher im Allgemeinen Seite 7
Synonymen für Gletscher 7. — Begriff und Arten 7. — Gletschermittelpunkte 8. — Die orographischen Bedingungen 9. — Unterscheidung von Firn und Gletscher 9. — Bedeutung der Firnmulden 10. — Zusammengesetzte Gletscher 10. — Theilung der Gletscher 11. — Transitorische und regenerirte Gletscher 12. — Ansehen der grössern Gletscher 13. — Gestalt kleiner Gletscher 13. — Gletscherseen 14. — Entleerung der Gletscherseen 15.
- III. Maassbestimmungen der Gletscher Seite 16
Die Schneelinie 16. — Höhe in den Alpen 16. — Die Schwankungen der Schneelinie 17. — Die Firnlinie 18. — Höhe der Firnmulden 20. — Grösse der Firnmulden 21. — Dicke der Gletscher 21. — Die Länge der Gletscher 23. — Einwirkende Grössen 24. — Specifische und wahre Neigung 25. — Neigung der Gletscher erster und zweiter Ordnung 26. — Der Endabfall 27. — Höhe des Gletscherendes 27.
- IV. Das Material des Gletschers Seite 30
Die höchsten Niederschläge 30. — Der Hochschnee 31. — Die Eisrinden des Hochschnee's 32. — Hocheis und Seracs 33. — Ansehen der Firnmulden 34. — Der Firnschnee 35. — Die Dichtigkeit des Schnee's 36. — Menge der Niederschläge 37. — Auftreten des Firneises 38. — Das Gletschereis 39. — Die Bläschen des Eises 40. — Die Luft des Eises 41. — Infiltration des Gletschers 43. — Das Gletscherkorn 45. — Ursprung der Haarspalten 46. — Die innere Vereisung 48. — Einwirkende Umstände 49.

V. Die Trümmer der Gletscher Seite 51

Vorwort 51. — Die Zertrümmerung des Gebirges 51. — Die Region starker Zertrümmerung 52. — Verschiedene Arten der Morainen 53. — Die Seitenmorainen 54. — Endmorainen 55. — Wirkungen des Gletscherschubes 56. — Mittelmorainen oder Gufferlinien 58. — Die Trümmer der Gufferlinien 60. — Die Grundmoraine 60. — Ursprung der Grundmorainen 62. — Unreinigkeiten des Eises 63. — Die austossende Kraft des Gletschers 64. — Die Gletscheralluvionen 66. — Die Felsen des Gletscherbettes 67. — Fernere Spuren der Gletscherwirkung 68. — Organismen der Schneeregion 69. — Der rothe Schnee 70. — Gletscherthierchen 72.

VI. Die Zerklüftung des Gletschers Seite 74

Vorwort 74. — Der Bergschrund 74. — Die Randklüftung der Firnmulden 75. — Andere Firnklüfte 76. — Die Randklüftung des Gletschers 77. — Das Spaltenwerfen 77. — Die vom Gletscherbette herrührenden Spalten 79. — Die Querspalten 80. — Gletscherbrüche 82. — Randspalten 83. — Die Schliessung der Spalten 84. — Längenspalten 84. — Mühlen und Löcher 85. — Unglücke auf den Gletschern 86. — Gletscherstürze 87. — Beispiele 88.

VII. Die Auflösung des Gletschers Seite 90

Ablation von Firn und Gletscher 90. — Schmelzungswärme 90. — Einfluss der Sonnenwärme 91. — Betrag derselben 91. — Die Lufttemperatur 92. — Einfluss des Fönwindes 94. — Einfluss der Luftfeuchtigkeit 94. — Condensation und Verdunstung des Gletschers 95. — Verdunstung und Erhaltung organischer Körper 97. — Beobachtung der Ablation 98. — Jährliche Ablation 98. — Tägliche Ablation 99. — Einfluss der Lage und Oertlichkeit 101. — Einfluss der Morainen 103. — Gletschertische und Schuttkegel 104. — Einsenkungen des Gletschers 105. — Wiederherstellung der Gletscherfläche 107. — Schmelzung durch Erdwärme 108. — Schwäche der untern Schmelzung 110. — Untere Abschmelzung durch Wasser 111. — Luftströmungen unter dem Gletscher 112. — Die Gletscherhöhlen 113. — Der Gletscherbach 115. — Temperatur des Gletscherbaches 116. — Farbe des Gletscherwassers 117.

VIII. Die Bewegung des Gletschers Seite 119

Ihre Bedeutung 119. — Messungen der jährlichen Bewegung 119. — Folgerungen 121. — Einfluss der Wärme 122. — Bewegung und Wassermenge 124. — Bewegung verschiedener Stellen nach der Breite des Gletschers 125. — Seitenbewegung 127. — Bewegung

verschiedener Punkte der Länge 128. — Die Bewegung in verschiedener Tiefe 130. — Bewegung secundärer Gletscher 131. — Bewegung von Schnee- und Firnmassen 132. — Einfluss der Masse 132. — Folgerungen 133. — Die Verschiebung des ganzen Gletschers 134.

IX. Die Struktur des Gletschers Seite 136

Vorbemerkung 136. — Schichtung des Firnes 136. — Entdeckung der innern Struktur 137. — Schmutzzonen 138. — Gestaltänderung der Ogiven 140. — Innerer Verlauf der Bandstruktur 142. — Modifikationen der Struktur 144. — Ansicht von Agassiz 144. — Ansicht von Forbes 146. — Das Experimentum crucis von Forbes 147. — Strukturbänder in regenerirten Gletschern 147. — Die Ansicht von Schlaginweit 148.

X. Die Ursachen der Bewegung Seite 150

Bedeutung der Gletscherbewegung 150. — Die Saussure'sche Theorie des Gleitens 151. — Beurtheilung derselben 151. — Die Dilatationstheorie 153. — Schwierigkeiten derselben 155. — Temperatur im Innern der Gletscher 156. — Auftreibung im Frühjahr 157. — Hugi's Theorie 159. — Die Theorie der Plastizität 160. — Ansichten von Rendu 161. — Theorie von Hopkins 162. — Theorie von Forbes 163. — Der Mechanismus der Bewegung 164. — Das Erscheinen von Schutt auf dem Gletscher 165. — Ansicht von Schlaginweit 165. — Schlussbetrachtung 166.

XI. Die Schwankungen des Gletschers . . . Seite 168

Die jährlichen Schwankungen 168. — Unregelmässige Schwankungen 169. — Normalgrösse des Gletschers 170. — Abweichungen vom Normalzustand 171. — Tägliches Vorrücken 173. — Unterschiede verschiedener Gletscher 174. — Grössere Schwankungen 176. — Verschiedene Jahresreihen 177. — Ungewöhnliches Vorrücken 179. — Beispiele zunehmender Vergletscherung 180. — Fernere Beispiele 182. — Die Frage der Alpenverwilderung 183. — Schwankungen einer vorgeschichtlichen Zeit 184. — Alter der jetzigen Gletscher 187. — Erratische Gletscher 187. — Obere Gränze der Gletscherspuren 188.

XII. Die Verbreitung der Gletscher Seite 190

Vorwort 190. — Pyrenäengletscher 190. — Gletscher in Spanien 192. — Gletscher Kleinasiens und des Caucasus 193. — Inner-Asien 194. — Schneegränze am Himalaja 195. — Gletscher im Cashemir-Himalaja 196. — Gletscher im Kumaon und Gurhwal-

Himalaja 196. — Die Gebirge der neuen Welt 198. — Die Schneefelder Norwegens 200. — Justedals Eisberge 202 — Die Gletscher des Sulitelma 203. — Das Gleichgewicht der nordischen Eismassen 204. — Die Gletscher auf Island 205. — Die Eisberge der Polargegenden 206. — Die Gletscher auf Spitzbergen 207. — Die Bewegung der Polargletscher 208. — Die Zerstörung der Polargletscher 209. — Das Innere der Polarländer 211. — Schluss 211.



In unserem Verlage ist in neuerer Zeit erschienen:

Mousson, A., über das Tischrücken. Ein Wort der
Aufklärung. 8^o. geh. 6 Ngr.

— — die Land- und Süßwasser-Mollusken
von Java. Mit 22 lithographirten Tafeln. 8^o. broch.
schwarz Rthlr. 2.
colorirt Rthlr. 3. 15 Ngr.

Studer, Dr. B., Geologie der Schweiz. Mit Gebirgsdurchschnitten und einer geologischen Uebersichtskarte. 2 Bde. 8^o. br. Rthlr. 6.

Volger, Dr. G. H. O., Studien zur Entwicklungsgeschichte der Mineralien. 8^o. br. Rthlr. 2. 24 Ngr.

Unter der Presse:

Volger, Dr. G. H. O., die Entwicklungsgeschichte der Mineralien als Grundlage einer wissenschaftlichen Geologie und rationellen Mineralchemie. Die Entwicklungsgeschichte der Mineralien der Talkglimmerfamilie und ihrer Verwandten etc.





Mousson, Albert

Die Gletscher der Jetztzeit eine Zusammenfassung und Prüfung ihrer
Erscheinungen und Gesetze

Zürich 1854

Phys.sp. 471 m

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10134356-2